



TESIS- TI142307

**STUDI PENGARUH KUALITAS PRODUK  
BERDASARKAN *VARIABLE SAMPLING PLAN*  
MENGUNAKAN *PROCESS CAPABILITY INDICES*  
(PCI) SEBAGAI PEMICU KEPUTUSAN KEBIJAKAN  
PERAWATAN**

YULIA FERDA HENING  
2514 201 009

DOSEN PEMBIMBING  
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN KUALITAS DAN MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



THESIS- TI142307

**STUDY OF PRODUCT QUALITY'S EFFECT BASED  
ON VARIABLE SAMPLING PLAN USING PROCESS  
CAPABILITY INDICES (PCI) AS TRIGGER OF  
MAINTENANCE POLICY DECISION**

Yulia Ferda Hening  
2514 201 009

SUPERVISOR  
Nani Kurniati, ST., M.T., PhD

MAGISTER PROGRAM  
MANUFACTURING QUALITY MANAGEMENT  
INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

**STUDI PENGARUH KUALITAS PRODUK BERDASARKAN *VARIABLE SAMPLING PLAN* DENGAN MENGGUNAKAN *PROCESS CAPABILITY INDICES* (PCI) SEBAGAI PEMICU KEPUTUSAN KEBIJAKAN PERAWATAN**

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)**

**Di**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**


**YULIA FERDA HENING**

**NRP. 2514201009**

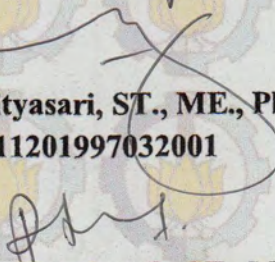
**Tanggal Ujian : 27 Juni 2016**

**Periode Wisuda : September 2016**

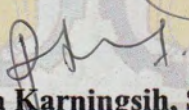
**Disetujui oleh :**

  
**1. Nani Kurniati, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197504081998022001**

**(Pembimbing)**

  
**2. Maria Anityasari, ST., ME., Ph.D.  
NIP. 197011201997032001**

**(Penguji I)**

  
**3. Putu Dana Karningsih, ST., M.Eng.Sc, Ph.D.  
NIP. 197405081999032001**

**(Penguji II)**

**Direktur Program Pascasarjana,**

  
**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 19601202 198701 1 001**





# **STUDI PENGARUH KUALITAS PRODUK BERDASARKAN VARIABLE SAMPLING PLAN DENGAN MENGGUNAKAN PROCESS CAPABILITY INDICES (PCI) SEBAGAI PEMICU KEPUTUSAN KEBIJAKAN PERAWATAN**

Nama : Yulia Ferda Hening  
NRP : 2514201009  
Jurusan : Teknik Industri FTI-ITS  
DosenPembimbing : Nani Kurniati, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRAK**

Interaksi antara kualitas dan kebijakan perawatan telah lama diketahui akan keterikatan antara keduanya. Kualitas produk dapat dipengaruhi oleh degradasi sistem dimana dapat meningkatkan probabilitas kegagalan dan meningkatkan jumlah *fraction nonconforming product*, oleh karena itu peran kegiatan perawatan dibutuhkan untuk menjaga dan mengembalikan performansi dari unit produksi. Inferensi deteriorasi berdasarkan kualitas produk merupakan alternatif yang lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan inferensi deteriorasi berdasarkan kondisi peralatan karena selain kualitas produk sangat dipengaruhi secara langsung oleh degradasi proses produksi, penurunan kualitas produk memberikan umpan balik tentang kondisi peralatan tanpa harus melibatkan teknologi yang mahal layaknya pada *condition-based maintenance* tradisional. Penelitian ini mengusulkan tentang studi pengaruh kualitas produk terhadap kebijakan perawatan berdasarkan penggunaan informasi dari aktivitas *sampling* untuk pengambilan keputusan perawatan pada sistem produksi yang bergantung pada reliabilitas dan deteriorasi kualitas. Pengendalian kualitas dilakukan menggunakan *variabel sampling plan* dengan menggunakan PCI sebagai kriteria keputusannya. Aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan. *Numerical example* dilakukan untuk mendemonstrasikan implementasi dari model interaksi yang diusulkan. Analisa perilaku dari model interaksi juga dilakukan dan dibahas untuk berbagai parameter yang berbeda. *Feedback* dari kegiatan perawatan berdasarkan kualitas efektif dalam meningkatkan performansi dari unit produksi, karena *fraction nonconforming product* yang dihasilkan memberikan kita informasi bahwa terdapat indikasi yang relevan terhadap keadaan deteriorasi secara keseluruhan. Selain itu dari hasil pengamatan pada grafik, dapat dilihat bahwa tidak ada pola dari masing-masing *sampling plan* yang dibuat terhadap banyaknya jumlah perawatan.

Kata kunci: *variable acceptance sampling plan*, PCI, *quality-based maintenance*

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# **STUDY OF PRODUCT QUALITY'S EFFECT BASED ON VARIABLE SAMPLING PLAN USING PROCESS CAPABILITY INDICES (PCI) AS TRIGGER OF MAINTENANCE POLICY DECISION**

Name : Yulia Ferda Hening  
NRP : 2514201009  
Major : Teknik Industri FTI-ITS  
Supervisor : Nani Kurniati, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRACT**

Interaction between quality and maintenance policy have been known for long time ago. Product quality can be affected by the degradation of system which can increase the probability of failure and the number of fraction of nonconforming product. Therefore the role of maintenance activities required to maintain and restore the performance of the production unit. Inference of deterioration based on the quality of products is an alternative that is more effective and efficient than the deterioration inference based on the condition of the equipment because beside that the product quality is directly affected by the degradation process of production, the degradation of product quality provide feedback about the condition of the equipment without having to involve the expensive technology as traitional condition-based maintenance. This study proposes the study of product quality's effect on maintenance policy based on information from sampling activity as trigger of maintenance decision for production system that depend on the reliability and quality deterioration. Quality control is conducted using a variable sampling plan by PCI as a decision criterion. Maintenance activities carried out when the number of rejection lot sequentially reaches a specified threshold. Numerical example is conducted to demonstrate the implementation of the proposed interaction model. The behavior of the proposed interaction model for various parameter is examined and discussed. Feedback from maintenance activity based on quality is effective improving performance of production unit because the fraction non-conforming produced gives us information that there is the relevan indication to the whole deterioration condition. Even though there is the interaction between maintenance and quality, but the result from the observation of graphs interaction show that there is no pattern from the proposed sampling plan to the number of maintenance performed.

Keywords: *variable sampling plan, PCI, quality-based maintenance*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR KEASLIAN TESIS.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.5 Manfaat penelitian.....	7
1.6 Sistematika Penelitian .....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Kualitas.....	9
2.2 Pengendalian kualitas statistik .....	10
2.3 <i>Acceptance Sampling Plan</i> .....	11
2.3.1 Keuntungan dan kerugian .....	14
2.4 <i>Tipe Sampling Plan</i> .....	15
2.4.1 <i>Attribut Sampling Plan(ASP)</i> .....	15
2.4.2 <i>Variable Sampling Plan(VSP)</i> .....	15
2.5 VSP untuk proporsi <i>nonconforming</i> .....	17
2.6 VSP untuk proses parameter.....	19



2.7	<i>Process Capability Indices (PCI)</i> .....	21
2.8	Perawatan.....	24
2.9	Hubungan perawatan dan kualitas.....	27
2.10	Posisi penelitian .....	29
2.10.1	Model kebijakan pengendalian kualitas (Bouslah, 2015) .....	32
2.10.2	Kebijakan perawatan (Bouslah, 2015) .....	33
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1	Tahap Identifikasi Masalah.....	36
3.1.1	Studi Literatur .....	36
3.2	Tahap permodelan dan penyelesaian model .....	36
3.2.1	Model konseptual interaksi perawatan dan kualitas.....	37
3.2.2	Model <i>single VSP</i> menggunakan PCI dan penyelesaiannya. ....	38
3.3	Tahap <i>Numerical Example</i> dan Interaksi.....	39
3.4	Tahap Penarikan Kesimpulan dan saran.....	40
BAB 4	PENGEMBANGAN MODEL.....	41
4.1	Model single VASP menggunakan indeks Cpk.....	41
4.1.1	<i>Parameter plan</i> .....	43
4.1.2	Prosedur operasi.....	45
4.2	Penyelesaian model.....	46
4.3	Analisa Perilaku Model .....	55
BAB 5	<i>NUMERICAL EXAMPLE</i> DAN ANALISIS .....	57
4.3	Numerical example .....	57
4.4	Interaksi PM dan kualitas produk .....	59
BAB 6	KESIMPULAN .....	67
6.1	Kesimpulan .....	67
6.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	.....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tes Hipotesis Statistik.....	19
Tabel 2.2 Rangkuman tipe VASP.....	20
Tabel 2.3 Posisi penelitian .....	31
Tabel 4.1 Plan parameter (n, k) untuk $\alpha$ , $\beta$ , $C_{AQL}$ , $C_{RQL}$ yang bervariasi.....	49
Tabel 5.1 Data hasil pengukuran ketebalan sampel.....	54

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Framework</i> interaksi inspeksi kualitas dan perawatan didalam sistem produksi.....	2
Gambar 2.1	Pengendalian kualitas statistik.....	10
Gambar 2.2	Variasi <i>acceptance sampling plan</i> .....	13
Gambar 2.3	Perbandingan penerimaan sampel atribut dan variabel (single sampling).....	16
Gambar 2.4	Batas unit nonconforming dalam PPM banding Cpk.....	23
Gambar 2.5	Hubungan produksi, kualitas dan perawatan.....	28
Gambar 2.6	<i>Framework</i> interaksi pengujian kualitas dan perawatan didalam sistem produksi.....	29
Gambar 3.1	Kerangka penelitian.....	35
Gambar 3.2	<i>Framework</i> interaksi sistem produksi, pengendalian kualitas dan kebijakan perawatan.....	38
Gambar 4.1	Prosedur operasi single VASP dengan PCI.....	45
Gambar 4.2	(a) <i>Surface plot of <math>S_1</math></i> (b) <i>Countour plot of <math>S_1</math></i> .....	47
Gambar 4.3	(a) <i>Surface plot of <math>S_2</math></i> (b) <i>Countour plot of <math>S_2</math></i> .....	48
Gambar 4.4	(a) <i>Surface plot of <math>S_1S_2</math></i> (b) <i>Countour plot of <math>S_1S_2</math></i> .....	49
Gambar 4.5	Pola perilaku risiko terhadap jumlah sampel.....	52
Gambar 4.6	(a) dan (b) Pola perilaku jumlah sampel terhadap <i>quality level</i> ...	54
Gambar 4.7	(a) dan (b) Pola perilaku <i>critical value</i> terhadap <i>quality level</i> ....	54
Gambar 5.1	Histogram hasil pengukuran data sampel.....	58
Gambar 5.2	Plot probabilitas normal data sampel.....	59
Gambar 5.3	Grafik $\hat{C}_p$ pada simulasi pertama.....	61
Gambar 5.4	Grafik $\hat{C}_p$ pada simulasi kedua.....	62
Gambar 5.5	Grafik $\hat{C}_p$ pada simulasi ketiga.....	63
Gambar 5.6	Grafik $\hat{C}_p$ pada simulasi keempat.....	64

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Pendahuluan berisikan tentang uraian mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian yang berupa batasan dan asumsi, serta manfaat penelitian.

### **1.1 Latar Belakang**

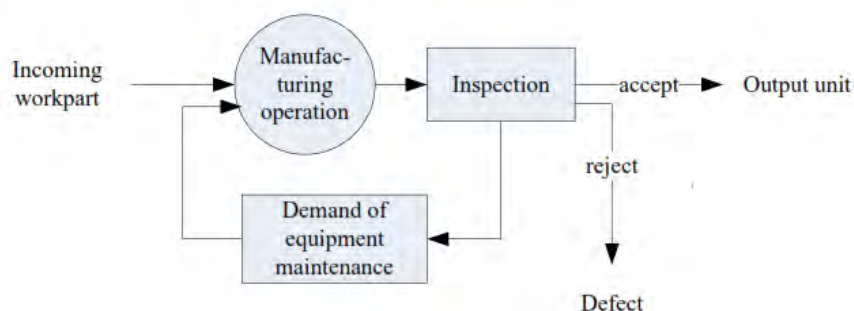
Kualitas telah menjadi salah satu faktor keputusan yang paling penting bagi konsumen dalam pemilihan persaingan produk dan servis (Montgomery, 2009). Kualitas juga menjadi strategi bisnis utama perusahaan/organisasi untuk menuju sukses, tumbuh, dan meningkatkan posisi persaingannya (Ben-Daya & Duffuaa, 2008).

Seiring meningkatnya teknologi otomatisasi dan kompleksitas dalam sistem manufaktur, proses produksi juga mengalami pergeseran dari semula dilakukan oleh pekerja ke mesin. Menurut Ben-Daya & Duffuaa (2008), hal ini dapat mengakibatkan peran perawatan peralatan dalam mengendalikan kuantitas, kualitas dan biaya lebih jelas dan penting daripada sebelumnya, oleh karena itu, peralatan harus dipelihara dalam kondisi operasi yang ideal dan harus berjalan dengan efektif.

Di lingkungan yang sangat kompetitif saat ini, pengurangan biaya adalah salah satu dari isu yang paling penting didalam industri manufaktur. Menurut Njike *et al.*(2011), kegagalan mesin dianggap sebagai target utama didalam pengurangan biaya didalam departemen perawatan sehingga kualitas berperan dalam keuntungan jangka panjang sebuah perusahaan/organisasi dan telah lama menjadi sumber penelian oleh banyak praktisi yang ingin mengembangkan strategi perawatan yang berkontribusi dalam keuntungan jangka panjang tersebut. Peran kualitas didalam perawatan telah dibahas oleh Olilla dan Malmipuro (1999) dalam penelitiannya. Menurut Olilla dan Malmipuro (1999) permesinan yang



berfungsi dengan baik merupakan syarat dari kualitas produk dan perawatan harus diambil sebagai pertimbangan akan dampaknya terhadap kualitas produk. Ben-Daya & Duffuaa (1995) juga membahas tentang hubungan antara perawatan dan kualitas dan mengusulkan *broad framework* yang memodelkan hubungan keduanya. Mereka mengusulkan dua pendekatan untuk menghubungkan dan memodelkan hubungan ini. Pendekatan pertama berdasarkan pada ide bahwa perawatan mempengaruhi pola kegagalan pada peralatan dan menyarankan untuk dimodelkan menggunakan konsep *imperfect maintenance* yang mana laju kegagalan peralatan akan turun setelah dilakukan PM dan konsekuensinya akan memperlambat penuaan pada peralatan. Pendekatan yang kedua berdasarkan pada pendekatan Taguchi terhadap kualitas, yang mana proses perawatan akan mengurangi deviasi karakteristik kualitas produk dari nilai target perusahaan. Penelitian terbaru tentang hubungan antara inspeksi kualitas dan perawatan juga telah dilakukan oleh Kurniati *et al.* (2015). Didalam penelitiannya mereka mengusulkan *framework* interaksi antara inspeksi kualitas dan perawatan yang menyediakan pemikiran komprehensif managerial dalam perawatan peralatan. Mereka juga meneliti dan memodelkan hubungan antara inspeksi kualitas dan perawatan. *Framework* interaksi antara inspeksi kualitas dan perawatan yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini, dimana hasil dari inspeksi kualitas menjadi pemicu terhadap kebutuhan perawatan permesinan.



Gambar 1.1 Framework interaksi inspeksi kualitas dan perawatan didalam sistem produksi

(Sumber: Kurniati *et al.*, (2015))

Menurut Bouslah *et al.*(2016), selama tiga dekade terakhir banyak usaha telah dilakukan peneliti dalam mempelajari beragam interaksi antara perawatan, pengendalian kualitas dan produksi. Hal ini ditandai dengan banyaknya penelitian yang mengusulkan integrasi model antara ketiga fungsi dasar ini didalam literatur. Integrasi model dapat berupa integrasi antara produksi dan kualitas, produksi dan perawatan, perawatan dan kualitas ataupun integrasi antara ketiganya. Ben-daya & Rahim (2001) menampilkan beberapa penelitian integrasi tersebut. Lee & Roseblatt (1989) melakukan integrasi antara produksi dan kualitas, yaitu mengembangkan model yang mempelajari hubungan antara *lot size* dan kualitas. Porteus (1986, 1990) melakukan integrasi antara produksi dan perawatan, dimana telah mengembangkan model untuk penentuan *Economic Production Quantity* (EPQ) dan jadwal inspeksi untuk proses perawatan. Tagaras (1988) melakukan integrasi antara produksi dan perawatan, dimana telah memasukkan model biaya untuk menganalisis dan mengoptimasi *control chart* dan operasi perawatan. Ben-Daya (1999) melakukan integrasi antara produksi, perawatan dan kualitas, yaitu mengintegrasikan model untuk penentuan *Economic Production Quantity* (EPQ), *economic control chart design*, dan level optimal PM.

Didalam literatur integrasi model, hampir semua model tidak mempertimbangkan degradasi kualitas dan reliabilitas peralatan secara bersama-sama (Chakraborty *et al*, 2013 dalam Bouslah *et al*, 2015). Ketika kedua fenomena diobservasi, *Preventive Maintenance* (PM) memainkan peran ganda, yaitu meningkatkan reliabilitas peralatan produksi dan mengembalikan kualitas produk pada level yang diinginkan (Ben-Daya & Duffuaa, 2008). Menurut Grall *et al.*(2002), akan lebih baik mendasarkan keputusan PM pada level deteriorasi aktual daripada berdasarkan umur peralatan karena deteriorasi berdampak langsung pada availibilitas sistem produksi dan kualitas output. Inferensi terhadap deteriorasi dapat diketahui berdasarkan kondisi peralatan atau pada karakteristik kualitas produk (Colledanni *et al*, 2012 dalam Bouslah *et al*, 2015).

Inferensi terhadap deteriorasi berdasarkan kondisi peralatan dikenal dengan *condition-based maintenance*(CBM). Pada umumnya melibatkan penggunaan teknologi tinggihan mahal seperti analisis fibrasi, korosi, termografi, dan lain-lain (Davies, 1998). Penurunan kualitas produk dapat memberikan

umpan balik tentang kondisi peralatan tanpa harus melibatkan teknologi yang mahal layaknya pada CBM tradisional, sehingga kebijakan perawatan berdasarkan kualitas produk dapat juga dikatakan sebagai *modified* CBM. Inferensi terhadap deteriorasi berdasarkan kualitas produk menjadi alternatif yang lebih efektif dan efisien.

Penelitian tentang penentuan perawatan berdasarkan umpan balik informasi kualitas mulai mendapatkan perhatian peneliti. Tapiero (2009) membahas masalah perawatan stokastik berdasarkan kualitas produk. Hsu dan Kuo (1995) meneliti performansi inspeksi – perawatan, dimana 100% inspeksi dilakukan untuk menyatakan proporsi *defective item*. Aktivitas *preventive/corrective maintenance* dilakukanketika *defective item* mencapai batas *threshold* yang sudah ditentukan. Radhoi et al ( 2010) melakukan hal yang sama dengan Hsu & Kuo (1995), dimana dilakukan 100% inspeksi produk. Panagiotidou dan Tagaras (2010) dan Zhang *et al.* (2015) mengusulkan integrasi *contion-based maintenance* dengan *control chart*. Kebijakan pengendalian kualitas yang digunakan dalam integrasi model hampir semua melibatkan inspeksi 100% dan *control chart*. Sangat sedikit penelitian yang membahas tentang penggunaan infomasi dari aktivitas *sampling* untuk *conditioning monitoring* dan pengambilan keputusan perawatan. Integrasi antara *acceptance sampling plan* dan strategi perawatan belum mendapat perhatian yang sama dalam literatur.

Menurut Pearn & Wu (2007), *Acceptance Sampling* (AS) merupakan alat yang praktis dalam penerapan jaminan kualitas dan telah banyak secara luas digunakan di industri untuk waktu yang lama. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan inspeksi yang lain. Pertama, AS mempunyai sifat statistik yang spesifik (Schilling, 2006) yakni relevan untuk kegiatan *conditioning monitoring* dan membuat keputusan perawatan yang sesuai. Kedua, dibandingkan dengan kebijakan inspeksi 100%, AS lebih ekonomis dan dapat mengurangi jumlah inspeksi secara signifikan terutama ketika proses dalam keadaan “in-control” (Montgomery, 2009). Ketiga, AS yang didesain secara ekonomis bahkan akan memberikan lebih banyak penghematan dibandingkan ANSI/ASQC Z1.4 dan ISO 2859 (Nikolaidis & Nenes, 2009). Bouslah *et al.* (2015) mengintegrasikan produksi, AS dan PM. Dimana digunakan *single acceptance*

*sampling* berdasarkan atribut sebagai salah satu fungsi dalam permodelannya. Menurut Montgomery (2009), AS dapat diklasifikasikan berdasarkan *atribut sampling plan* (ASP) dan *variabel sampling plan* (VSP). AS berdasarkan variabel mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan atribut. Keunggulannya antara lain adalah dapat menyediakan proteksi yang sama dengan jumlah sampel yang lebih sedikit (Schilling, 2006).

Didalam AS, ada dua pendekatan untuk menghitung *fraction non-conforming* yaitu pendekatan aproksimasi dan pendekatan *sampling exact distribution*. Didalam industri manufaktur dengan teknologi yang tinggi, dimana produk yang dihasilkan mempunyai *fraction defective* yang rendah, perhitungan *fraction non-conforming* dengan pendekatan aproksimasi tidak lagi bekerja dengan baik karena sampel yang diinspeksi mungkin saja tidak mengandung *defect*. Metode alternatif untuk menghitung *fraction non-conforming* adalah dengan menggunakan *process capability indices* (PCI). PCI akan mengevaluasi kemampuan proses dalam memproduksi produk yang bertemu dengan spesifikasinya. Masing – masing indeks pada PCI mempunyai distribusi yang berbeda sehingga memungkinkan kita untuk melihat bagaimana proses dapat terdistribusi secara *real*. Perhitungan *fraction non-conforming* dengan menggunakan PCI disebut *sampling exact distribution*.

Menurut Pearn & Wu (2007) PCI merupakan metode alternatif yang lebih efektif dibandingkan metode tradisional untuk menghitung *fraction non-conforming* karena lebih akurat dan *reliable*. Penelitian tentang PCI sebagai kriteria keputusan yang dipakai dalam ASP juga telah banyak dipublikasikan didalam literatur (misal, Pearn & Wu (2006a, 2006b, 2007, 2008). Disamping itu, belum ada penelitian yang telah dipublikasi meneliti tentang kegunaan dan hubungan informasi yang disediakan dari VSP dengan PCI untuk pembuatan keputusan perawatan. Penelitian ini mengusulkan permodelan dari pengendalian kualitas untuk sistem produksi yang bergantung pada reliabilitas dan deteriorasi kualitas sebagai pemicu keputusan kebijakan perawatan. Pengendalian kualitas dilakukan menggunakan *single VSP* dengan menggunakan PCI sebagai kriteria keputusannya. Single AS merupakan *plan* yang paling populer diterapkan karena

kesederhanaan dalam administrasinya. Aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan studi pengaruh kualitas produk berdasarkan penggunaan informasi dari aktivitas *sampling* untuk pengambilan keputusan perawatan. Pengendalian kualitas dilakukan menggunakan *variabel sampling plan* dengan menggunakan PCI sebagai kriteria keputusan penerimaannya. Aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mendesain *single variable sampling plan* dengan menggunakan PCI.
2. Menganalisa perilaku model.
3. Melakukan pengambilan keputusan perawatan berdasarkan kualitas produk.

## **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun batasan dan asumsi dari penelitian ini antara lain:

1. Inspeksi kualitas produk menggunakan *single variable sampling plan*.
2. Kriteria keputusan penerimaan lot berdasarkan indeks kapabilitas.
3. Keputusan aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan.
4. Distribusi karakteristik kualitas yang diamati mengikuti distribusi normal.

## **1.5 Manfaat penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pertimbangan model pengembangan interaksi antara perawatan dan kualitas produk yang berdasarkan VSP yang dihitung menggunakan PCI.
2. Memberikan sumbangsih keilmiahan dalam pengembangan model interaksi kebijakan perawatan dan kualitas.
3. Penelitian ini dapat menjadi bahan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam bidang interaksi kebijakan perawatan dan kualitas.

## **1.6 Sistematika Penelitian**

Setiap bab pada penulisan laporan penelitian ini akan dijelaskan secara sistematis sesuai dengan urutan kegiatan yang dilakukan peneliti dalam menganalisis dan menyelesaikan permasalahan. Berikut sistematika penulisan yang digunakan, sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi penjelasan tentang hal-hal yang melatarbelakangi penelitian, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian, serta sistematika penulisan dalam penelitian ini.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan diuraikan penjelasan konsep-konsep yang dijadikan landasan untuk penelitian tesis ini, mengulas tinjauan literatur, dan akan menjelaskan posisi penelitian.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian digunakan sebagai pedoman agar penelitian dapat berjalan secara terstruktur sesuai kerangka penelitian. Adapun pada bab ini akan menguraikan metodologi dari penelitian ini.



#### BAB IV. PENGEMBANGAN MODEL

Pada bab ini terdiri dari subbab perancangan *single VSP* dengan *PCI* yang terdiri dari penentuan prosedur operasi dan *parameter plan* serta penyelesaian model matematisnya. Analisa perilaku model yang diusulkan juga disajikan dalam bab ini.

#### BAB V. *NUMERICAL* DAN ANALISIS

Pada bab ini, *numerical example* dilakukan pada sejumlah sampel untuk mengilustrasikan desain *sampling plan* yang dibuat. Pada bab ini juga ditampilkan interaksi antara kualitas produk dan aktivitas perawatan yaitu pengambilan keputusan perawatan berdasarkan penggunaan informasi dari aktivitas *sampling*.

#### BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang kesimpulan dan saran berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka berisikan tentang dasar-dasar ilmu yang digunakan dalam penelitian serta posisi penelitian terhadap penelitian-penelitian terdahulu.

#### **2.1 Kualitas**

Kualitas telah menjadi salah satu faktor keputusan yang paling penting bagi konsumen dalam pemilihan antara persaingan produk dan servis (Montgomery, 2009). Kualitas juga menjadi strategi bisnis utama perusahaan/organisasi untuk menuju sukses, tumbuh, dan meningkatkan posisi persaingannya (Ben-Daya & Duffuaa, 1995). Ekonomi global dan persaingan yang semakin sengit menjadikan kualitas sebagai daya saing dan keuntungan jangka panjang. Juran & Godfrey (1998) mendefinisikan kualitas menjadi dua definisi, yaitu:

1. Kualitas adalah fitur-fitur produk yang memenuhi kebutuhan pelanggan dan dengan demikian memberikan kepuasan pelanggan.
2. Kualitas adalah kebebasan dari kekurangan (*deficiencies*), kebebasan dari kesalahan yang membutuhkan pekerjaan ulang atau yang menghasilkan kegagalan di lapangan, ketidakpuasan pelanggan, klaim pelanggan, dsb.

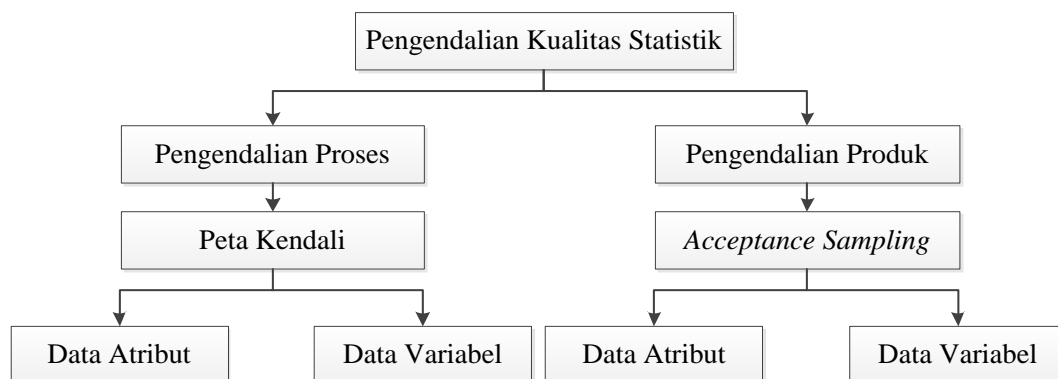
Kualitas produk dapat dievaluasi dalam beberapa cara. Menurut Garvin (1998) dalam Montgomery (2009) terdapat delapan komponen atau dimensi kualitas, yaitu sebagai berikut:

1. *Performance* (apakah produk melakukan pekerjaan sesuai dengan fungsinya?)
2. *Reliability* (seberapa sering produk gagal?)
3. *Durability* (seberapa lama produk dapat bertahan?)
4. *Serviceability* (seberapa mudah produk dapat diperbaiki?)
5. *Aesthetics* (seperti apa tampilan produk?)

6. *Features* (apa yang dapat dilakukan produk?)
7. *Perceived quality* (bagaimana reputasi perusahaan atau produk tersebut?)
8. *Conformance to standards* (apakah produk dibuat sesuai dengan desain yang dirancang?)

## 2.2 Pengendalian kualitas statistik

Menurut Puspita (2013) pengendalian kualitas merupakan suatu kegiatan yang sangat erat hubungannya dengan proses produksi, dimana pada pengendalian kualitas ini dilakukan pemeriksaan atau pengujian atas karakteristik kualitas yang dimiliki produk guna penilaian atas kemampuan proses produksinya yang dikaitkan dengan standar spesifikasi produk. Menurut Buffa (1993) dalam Puspita (2013) pengendalian kualitas statistik dapat diklasifikasikan atas 2 jenis yaitu pengendalian proses dan pengendalian produk. Secara ringkas pengendalian kualitas statistik dapat digambarkan seperti Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Pengendalian Kualitas Statistik  
Sumber: Puspita (2013)

Didalam bukunya, Montgomery (2009) menjelaskan bahwa *acceptance sampling plan*, *Statistic process control* dan *design of experiment* merupakan beberapa *statistical tool* yang digunakan untuk menganalisa masalah kualitas dan memperbaiki kinerja proses produksi.

### 2.3 *Acceptance sampling plan*

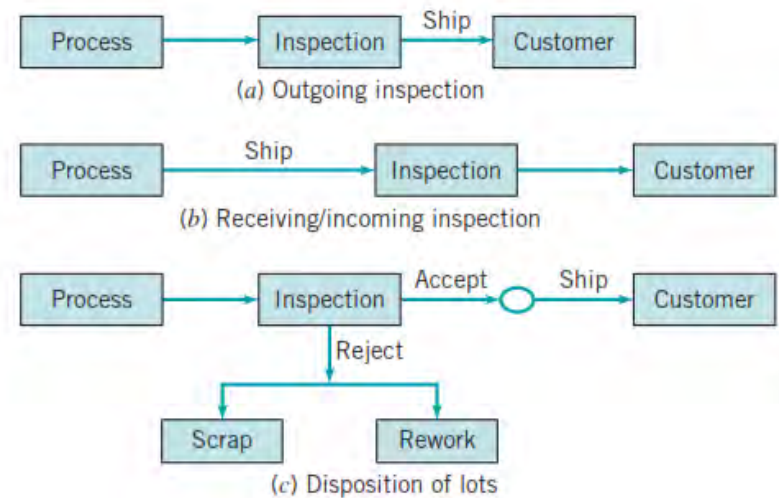
*Acceptance sampling plan* merupakan salah satu alat yang paling praktis untuk penerapan jaminan kualitas (Pearn & Wu, 2007). *Acceptance sampling plan* memberikan aturan umum antara pemasok dan pembeli dalam penerimaan produk akan kebutuhan mereka dalam kualitas produk. *Acceptance sampling plan* digunakan sebagai suatu bentuk dari inspeksi antara perusahaan dengan pemasok, antara pembuat produk dengan konsumen, atau antar divisi dalam perusahaan, oleh karena itu *acceptance sampling plan* tidak melakukan pengendalian atau perbaikan kualitas proses, melainkan hanya sebagai metode untuk menentukan disposisi terhadap produk yang datang (bahan baku) atau produk yang telah dihasilkan (barang jadi).

Selanjutnya *acceptance sampling plan* digunakan dengan berbagai alasan, misalnya karena pengujian yang dapat merusakkan produk, karena biaya inspeksi sangat tinggi, karena 100% inspeksi yang dilakukan memerlukan waktu yang lama, atau karena pemasok memiliki kinerja yang baik tetapi beberapa tindakan pengecekan tetap harus dilaksanakan, atau pun karena adanya isu-isu mengenai tanggung jawab perusahaan terhadap produk yang dihasilkan. Menurut Schilling (2006), terdapat sepuluh alasan mengapa *acceptance sampling plan* masih dibutuhkan hingga saat ini:

1. Pengujian bersifat merusak (destructive). Pengujian *acceptance sampling plan* sangat direkomendasikan pada kasus dimana dilakukan pengujian destruktif dibanding dengan dilakukan *100% inspection*.
2. Proses tidak berada dalam *in control*, sehingga dibutuhkan sampling untuk mengevaluasi produk. Kondisi out of control menyiratkan keadaan yang tak menentu yang mana tidak dapat diprediksi sehingga perlu diambil sampel acak dari total produksi untuk mengevaluasi produk setelah mengetahui fakta tersebut.
3. Pengujian 100% sampling tidak sepenuhnya efisien. Efisiensi pengujian 100% sampling telah diestimasi sekitar 80% saja dalam penyaringan produk.

4. Penyebab-penyebab yang tidak terduga dapat terjadi setelah proses pengujian. Proses kontrol akan berakhir ketika kontrol grafik di plot. Tetapi produk berpindah dan dapat menyebabkan kerusakan yang disebabkan oleh penyebab yang tidak terduga itu saat perjalanan ke konsumen. Sampling akhir atau produk yang akan datang menyediakan jaminan melawan masalah yang terjadi setelah proses selesai.
5. Butuh jaminan ketika melakukan proses kontrol. Proses harus beroperasi untuk beberapa waktu ketika menerapkan grafik kontrol dan menerima kontrol. Produk yang diproduksi dalam periode yang tidak diketahui ini harus dievaluasi. Sampling adalah jalan untuk mengevaluasi produk ini dan menyediakan informasi yang berguna pada *start-up* proses kontrol.
6. *Subgroups* rasional untuk proses kontrol dapat tidak mencerminkan kualitas yang akan keluar.
7. Pengajuan sengaja material yang rusak. Pengalaman didunia nyata telah menunjukkan tekanan produksi atau untung yang dapat menuntun pada penipuan. Sampling dapat membantu pencegahan dan mendeteksi ini.
8. Proses kontrol dapat menjadi tidak praktis dikarenakan biaya atau kurangnya pengalaman personil.
9. Pengujian 100% tidak mendorong perbaikan produk/proses.
10. Konsumen mengamankan *acceptance sampling plan*.

Dalam Montgomery (1996) dijelaskan bahwa terdapat beberapa variasi penggunaan *acceptance sampling plan* yang ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini. Pada gambar 2.2a, operasi pengujian dilakukan segera sebelum produk dikirim kepada konsumen. Keadaan ini disebut *outgoing inspection*. Gambar 2.2b menjelaskan tentang *incoming inspection* yaitu keadaan ketika lot produk dilakukan sampel ketika diterima dari pemasok (supplier). Sedangkan *disposition of lots* dijelaskan oleh gambar 2.2c yang mana produk yang ditolak dapat diterima kembali setelah diganti atau diperbaiki. Kasus ini dinamakan *rectifying inspection*.



Gambar 2.2 Variasi *acceptance sampling*

Sumber: Montgomery (2009)

Menurut Pearn & Wu (2009) perancangan *acceptance sampling plan* yang baik dapat secara efektif mengurangi perbedaan antara kuantitas pasokan yang sebenarnya dengan kuantitas pesanan. Jumlah sampel yang dibutuhkan pada *acceptance sampling plan* dalam pengujian produk dan aturan pembuatan keputusan digunakan untuk memberikan ‘*sentence*’ terhadap produk. *Acceptance sampling plan* umumnya terdiri dari jumlah sampel yang dibutuhkan untuk pengujian dan kriteria penerimaan.

Kriteria penerimaan yang digunakan untuk mengukur kinerja dari *acceptance sampling plan* biasanya berdasarkan dari kurva *operating characteristic* (OC) yang menghitung risiko. Vendor atau *supplier* biasanya melihat kualitas produk pada tingkat tertentu yang akan menghasilkan penerimaan yang tinggi. Contohnya, jika vendor ingin mempunyai probabilitas penerimaan 0.95 pada level kualitas produknya, maka ini berarti level proses dapat mengalami kemungkinan 95% lot produksi dapat diterima. Disisi lain, konsumen akan melihat produk yang ia terima berdasarkan *acceptable quality level* (AQL). AQL mempresentasikan level terendah kualitas proses vendor dimana konsumen akan mempertimbangkan penerimaan sebagai rata-rata proses. Konsumen akan mencari prosedur sampling dengan kurva OC yang menyediakan probabilitas penerimaan



tinggi pada AQL. Konsumen juga akan melihat ujung kurva OC lain untuk produk yang kualitasnya lebih buruk daripada AQL. Sehingga, konsumen membuat *lot tolerance percent defectie* (LTPD). LTPD merupakan level kualitas terendah yang konsumen akan terima. Konsumen membutuhkan *acceptance sampling plan* yang mempunyai probabilitas penerimaan produk rendah dengan level defect sebesar LTPD

Pada dasarnya, skema *acceptance sampling plan* mempunyai risiko bahwa sampel tidak akan cukup untuk mencerminkan kondisi dari kualitas produk yang sebenarnya. Untuk menjelaskan hal ini maka dikenal dengan tipe eror I dan tipe eror II. Tipe eror I ( $\alpha$ ) adalah probabilitas dimana menolak produk yang mempunyai level kerusakan sebesar AQL. Produsen akan menderita ketika ini terjadi karena produk dengan *acceptable level* ditolak sehingga tipe eror I disebut juga risiko produser dengan rentang nilai umumnya 0.01 hingga 0.1. Sedangkan tipe eror II adalah probabilitas menerima produk dengan level kerusakan sama dengan LTPD yang akan menyebabkan konsumen menderita jika ini terjadi karena produk yang *unacceptable* diterima sehingga tipe eror II ini dikenal dengan risiko konsumen dengan rentang nilai umumnya 0.01 hingga 0.1.

### **2.3.1 Keuntungan dan kerugian**

Ada beberapa keuntungan dan kerugian dalam pengujian *acceptance sampling plan* menurut Montgomery (1996) ketika pengujian ini dibandingkan dengan pengujian 100%. Keuntungannya antara lain adalah:

1. Lebih murah.
2. Dapat meminimalkan kerusakan dan perpindahan tangan.
3. Mengurangi kesalahan dalam inspeksi.
4. Dapat memotivasi pemasok bila ada penolakan bahan baku.

Sementara kelemahannya antara lain:

1. Adanya resiko penerimaan produk cacat atau penolakan produk baik.
2. Sedikit informasi mengenai produk.

3. Membutuhkan perencanaan dan pengdokumentasian prosedur pengembalian sampel, dan tidak adanya jaminan mengenai sejumlah produk tertentu yang akan memenuhi spesifikasi.

## **2.4 Tipe Sampling Plan**

Tipe sampling akan menentukan distribusi probabilitas yang sesuai untuk digunakan dalam mengkararakteristik performansi dari plan sehingga, tipe dari data yang digunakan juga akan mempunyai peran masing-masing. Metode statistika memainkan peran penting dalam usaha meningkatkan kualitas karena variabilitas pada produk hanya dapat dijelaskan didalam terminalogi statistika, oleh karena itu pembagian klasifikasi data pada karakteristik kualitas dibedakan menjadi data atribut dan data variabel. Pembagian klasifikasi data tersebut juga digunakan didalam *acceptance sampling plan*, yaitu *attribut sampling plan* dan *variable sampling plan*.

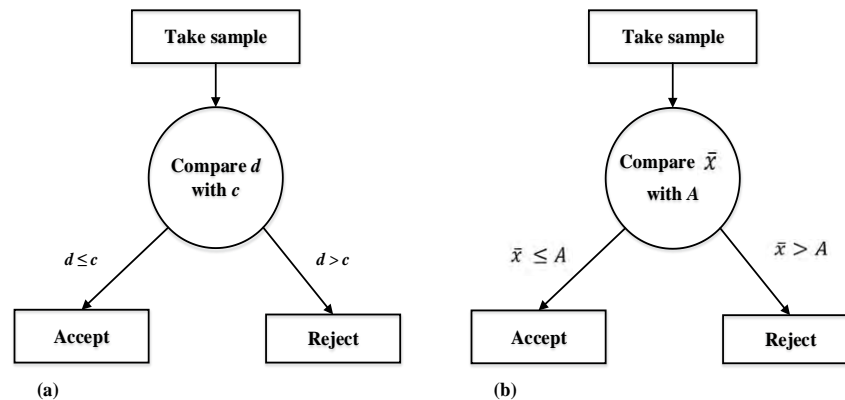
### **2.4.1 *Attribut sampling plan* (ASP)**

Menurut Montgomery (2009), atribut biasanya merupakan data diskrit, dimana didalam *acceptance sampling plan* karakteristik kualitasnya dinyatakan pada informasi 'go', 'no-go'. Tipe sampling ini digunakan untuk menerima atau menolak lot produk yang dilakukan sampel. *Acceptance sampling plan* untuk data atribut dilakukan untuk mengklasifikasikan produk sebagai *conforming* atau *nonconforming unit* pada sampel yang diambil secara *random* tanpa ada pengklasifikasian tingkat kesalahan atau cacat produk tersebut. Jumlah *nonconforming unit* (d) kemudian akan dibandingkan dengan *acceptance number* (c) sebagai kriteria keputusan penerimaan/penolakan lot.

### **2.4.2 *Variable sampling plan* (VSP)**

Menurut Montgomery (2009), *variabel sampling plan* adalah tipe sampling plan, dimana karakteristik kualitasnya yang diukur pada skala numerik.

Tipe sampling menggunakan variabel data menentukan apakah proses yang memproduksi produk yang dilakukan sampling berada dalam *acceptable limit*. Dalam *acceptance sampling plan* untuk data variabel, karakteristik kualitas ditunjukkan dalam setiap sampel, oleh karena itu dalam *acceptance sampling plan* untuk data variabel dilakukan perhitungan rata-rata sampel dan penyimpangan atau standar deviasi sampel tersebut. Apabila rata-rata sampel ( $\bar{x}$ ) berada diluar jangkauan penerimaan ( $A$ ), maka lot tersebut akan ditolak. Perbandingan kriteria penerimaan lot pada *acceptance sampling plan* atribut dan variabel dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.3 Perbandingan kriteria penerimaan *acceptance sampling plan* atribut (a) dan variabel (b)

(Sumber : Montgomery, 2009)

Didalam penelitian ini akan digunakan *acceptance sampling plan* menggunakan variabel (VASP), dimana mempunyai beberapa keuntungan. Keuntungan – keuntungan VASP menurut Schilling (2006) antara lain:

1. Menyediakan proteksi yang sama dengan jumlah sampel yang lebih kecil dibandingkan atribut.
2. Dapat menyediakan informasi *feedback* dari data yang sedang diproses yang diproduksi unit produk.
3. Lebih banyak data tersedia dapat dianalisa lebih dalam.
4. Tingkat kesesuaian masing-masing satuan berat yang diberikan

dalam penerapan rencana.

5. Meningkatkan kemungkinan kesalahan dalam pengukuran dapat terdeteksi.

Pada VASP, terdapat dua tipe umum *sampling procedure*, yaitu VASP untuk mengendalikan lot atau *process fraction defective* (nonconforming) dan VASP untuk mengontrol lot atau *process parameter*.

## 2.5 VSP untuk proporsi *nonconforming*

Perencanaan *acceptance sampling plan* variabel untuk *proporsi nonconforming* biasanya menggunakan *published plan* seperti MIL-STD 414 dan ANSI/ASQC Z1.9. Menurut Montgomery (2009), MIL-STD 414 adalah singkatan dari military standard 414 yang merupakan salah satu dari teknik acceptance sampling plan yang bersifat variabel. Dalam banyak hal, standard ini sama dengan sederatan *military standard* yang telah digunakan selama bertahun-tahun untuk penarikan sampel berdasarkan atribut. Beberapa pokok kesamaanya adalah: prosedur dan tabel didasarkan pada konsep *Acceptable Quality Level* (AQL); diasumsikan pemeriksaan penerimaan adalah lot demilot; digunakan untuk pemeriksaan normal, diperketat, atau diperlonggar tergantung pada keadaan bahwa ukuran sampel sangat dipengaruhi oleh ukuran lot; terdapat beberapa taraf pemeriksaan; dan semua poladiidentifikasi oleh kode huruf ukuran sampel (Eugene *et al*, 1989 dalam Puspita, 2013). Pada MIL-STD 414 terdapat dua metode yang dapat dipakai dalam penarikan sampling, metode *k* dan metode *m*. Perbedaan dari kedua metode ini hanya pada perhitungan saja. Berikut merupakan salah satu contoh langkah-langkah dalam menggunakan prosedur dengan metode Puspita (2013).

1. Persyaratan: hasil pengukuran berdistribusi normal
2. Data yang dibutuhkan :
  - a. Ukuran lot (batch)
  - b. AQL
  - c. Tingkat pemeriksaan: normal, diperketat, diperlonggar.

### 3. Pemelihan perencanaan

- a. Tentukan kode huruf dari ukuran lot (batch) dan tingkat pengawasan normal, diperketat atau diperlonggar.
- b. Dari kode huruf dan AQL, ditentukan: ukuran sampel = n, dan nilai m

### 4. Elemen

- a. Ukuran sampel
- b. Statistik
- c. Tentukan persen defektif yaitu:
  - Spesifikasi atas, yaitu tentukan pU (%) dari Qu dan n.
  - Spesifikasi bawah, yaitu tentukan pL (%) dari Ql dan n.
  - Spesifikasi ganda, yaitu tentukan p (%) = pU (%) + pL (%)
- d. Kriteria kepuasan
  - Kriteria penerimaan yaitu: Spesifikasi atas : pU (%) < m, Spesifikasi bawah : pL (%) < m, Spesifikasi ganda : p (%) < m
  - Kriteria penolakan : Tolak hasil yang lain

### 5. Tindakan menerima atau menolak lot.

Ukuran mencari indeks mutu QL dan Q dengan metode standard deviasi untuk keragaman tidak diketahui adalah sebagai berikut:

$$Qu = \frac{U-X}{s}, Ql = \frac{X-L}{s} \quad (2.1)$$

Keterangan:

QU = Indeks mutu untuk spesifikasi atas

Ql = Indeks mutu untuk spesifikasi bawah

X = Nilai rata-rata dari data yang diuji

U = Batas spesifikasi atas

L = Batas spesifikasi bawah

S = Standard deviasi.

## 2.6 VSP untuk proses parameter

Menurut Opit & Mokoginta (2007), perencanaan ini digunakan pada produk dengan karakteristik variabel untuk menaksir angka rata-rata proses, di mana salah satu batas spesifikasi diketahui beserta standar deviasi dari proses tersebut. Dua parameter yang akan direncanakan di sini adalah jumlah sampel  $n$  dan batas spesifikasi yang dapat diterima/*critical value*. Jadi, *variable sampling plan* dilakukan dengan mengambil sampel sejumlah  $n$  dari suatu lot secara acak, diukur parameternya, lalu dihitung rata-rata hasil pengukuran tersebut. Tes hipotesis statistik standar digunakan sebagai dasar metodologi dari *single VASP* untuk *process parameter*. Tes Statistik yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dapat digunakan sebagai rencana sampling dalam konteks ini. Tabel ini digunakan sebagai *one side* atau *two-sided test* tergantung pada apakah parameter yang dikontrol terhadap spesifikasi pada *one* atau *both sides*.

Tabel 2.1 Tes Hipotesis Statistik

Parameter Specified	Condition	Test	Statistic
Mean ( $\mu_0$ )	$\mu_0$ specified, $\sigma$ known	Normal $z$ -test	$z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$
	$\mu_0$ specified, $\sigma$ unknown	Student's $t$ -test	$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$
Standard deviation ( $\sigma_0$ )	$\sigma_0^2$ specified	$\chi^2$ -test	$\chi^2 = (n - 1) \left( \frac{s}{\sigma_0} \right)^2$

Sumber: Schilling (2006)

Suatu lot diharapkan akan diterima pada *acceptable quality level* (AQL) atau *good average quality* dengan probabilitas sebesar  $(1 - \alpha)$  dan pada *rejectable quality level* (LQL) atau *poor average quality* dengan probabilitas sebesar  $\beta$ . Kriteria penerimaan pada *acceptance sampling plan* dapat diukur berdasarkan kurva *operating characteristic* (OC), dimana pada kurva ini mengakomodasi dua *allowable risk* yaitu  $\alpha$  dan  $\beta$ . Kedua risiko ini harus dipertimbangkan didalam membuat ASP karena masing-masing pihak, produsen dan konsumen, ingin melindungi *quality level* mereka, oleh karena itu didalam penentuan *parameter plan* pada *acceptance sampling* membutuhkan dua *quality*

level, *Rejectable Quality Level*(RQL) dan *Acceptable Quality Level* (AQL), dan dua *allowable risk* ( $\alpha$  dan  $\beta$ ). Rangkuman dari tipe VASP dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel. 2.2 Rangkuman tipe VASP

Type of plan	Plan	Assumed distribution	Criteria specified	Features
Percent nonconforming	Single-sampling variables plan	Normal	Acceptable and rejectable percent nonconforming	Formulas for determining sample size and acceptance criteria to meet defined risks.
	Double-sampling variables plan	Normal	Acceptable and rejectable percent nonconforming	Tables for determining sample size and acceptance criteria to meet defined risks.
	Narrow-limit gauging	Normal	Acceptable and rejectable percent nonconforming	Tables for determining sample size and acceptance criteria to meet defined risks.
	Lot plot	None	Allowable percent nonconforming	Requires 50 measurements. Simple calculations and graphical procedure used to evaluate lot.
Lot or process parameter—general	Test of hypothesis	Appropriate for test	Mean or standard deviation	Formulas for determining sample size and acceptance criteria to meet defined risks.
	Acceptance control chart	Appropriate for determining acceptable and rejectable values of mean	Mean	Graphical procedure to determine if mean falls within defined limits.
	Sequential sampling	Normal	Mean or standard deviation	Procedures for evaluating one measurement at a time to determine if mean falls within defined limits. Complex but total sample size lower than with other plans.
Published plans for percent nonconforming	MIL-STD-414  ANSI/ASQC Z1.9 ISO 3951	Normal	Acceptable quality level (percent defective)	Tables and procedures for lot evaluation to a specified AQL. Requires tightened and reduced inspection. OC curves given. Includes mixed plans for use when lots have been screened before submission to sampling inspection.

Sumber: Juran & Godfrey (1998)

## 2.7 *Process Capability Indices (PCI)*

Seiring kemajuan teknologi manufaktur, supplier ingin produk mereka berkualitas tinggi dengan *fraction defective* yang rendah, kebutuhan *fraction defective* seringkali lebih rendah daripada 0.01% yang diukur dengan PPM. Sayangnya, metode tradisional untuk menghitung *fraction non-conforming* tidak lagi bekerja karena mungkin saja jumlah sampel yang diinspeksi tidak mengandung *defective item*. Metode alternatif dalam mengukur *fraction of defective* adalah dengan menggunakan *process capabilities indices (PCI)*.

PCI adalah evaluasi kemampuan proses dalam memproduksi produk atau service nya yang bertemu sesuai dengan spesifikasinya (Yum & Kim, 2011). ASP mengadopsi PCI sebagai kriteria pemilihan untuk menerima atau menolak lot, menentukan jumlah sample dan *critical value* dimana resiko terhadap konsumen dan produsen terpenuhi. Memahami struktur proses dan menghitung kinerja proses penting untuk kesuksesan dalam meningkatkan kualitas. PCI merupakan tool yang bagus yang digunakan dalam statistical process control (SPC) untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas secara terus menerus (Pearn & Wu, 2007).

Asal mula PCI adalah untuk membandingkan apa yang seharusnya proses lakukan dengan apa yang sebenarnya proses lakukan. Yang sebenarnya proses lakukan mengacu pada variabilitas proses, dimana semakin kecil variabilitas maka semakin kecil proporsi item jatuh keluar batas toleransi. Hubungan antara performansi proses yang sebenarnya lakukan dengan batas spesifikasi (toleransi) dapat dihitung dengan menggunakan PCI yang sesuai. PCI, Cp, Ca, Cpk, Cpm, Cpmk telah dikembangkan dalam dunia industri manufaktur sebagai ukuran kemampuan berdasarkan beberapa kriteria, termasuk *process consistency*, *process departure from target*, *process yield*, dan *process yield* (Wu et al, 2009). Indeks ini menyediakan pengukuran secara numerik apakah proses manufaktur sesuai dengan level yang ditentukan dari toleransi produksi atau tidak. Indeks ini merupakan tool yang efektif untuk menganalisis kemampuan proses and jaminan kualitas. Berdasarkan analisis PCI, departemen produksi dapat mengidentifikasi dan meningkatkan proses yang buruk (poor) sehingga kualitas produk dapat



ditingkatkan dan kebutuhan pelanggan dapat terpenuhi. Semakin besar nilai PCI maka semakin cakap (capable) prosesnya.

Menurut Pearn dan Wu (2006) indeks kemampuan proses, termasuk Cp, Cpu, Cpl, dan Cpk telah dikenal dalam industri manufaktur untuk mengukur apakah proses itu mumpuni dalam memproduksi produknya didalam toleransi manufaktur tertentu. Perhitungan tersebut menyediakan perhitungan kuantitatif pada kinerja dan potensial proses dijelaskan di bawah ini, dimana USL dan LSL adalah batas atas dan batas bawah spesifikasi,  $\mu$  adalah rata-rata proses, sedangkan  $\sigma$  adalah standar deviasi proses. Formulasinya adalah sebagai berikut:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.2)$$

$$Cpl = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2.3)$$

$$Cpu = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (2.4)$$

$$Cpk = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (2.5)$$

Cp dan Cpk digunakan untuk mengukur proses dengan dua sisi spesifikasi (yang mana membutuhkan spesifikasi *Lower Specification Limit* dan *Upper Specification Limit*), Cpu dan Cpl didesain secara khusus untuk proses dengan satu sisi spesifikasi yang mana hanya membutuhkan LSL atau USL saja. Cpu indeks mengukur kemampuan proses *smaller-the-better* dengan batas spesifikasi atas (USL) sedangkan Cpl mengukur kemampuan proses *larger-the-better* dengan batas spesifikasi bawah (LSL).

*Process yield* atau hasil proses telah lama digunakan sebagai kriteria standard yang digunakan didalam industri manufaktur untuk mengontrol dan menilai kinerja atau performansi dari proses. Menurut Pearn dan Wu (2007), *process yield* dapat didefinisikan sebagai persentase unit produk yang diproduksi dapat lulus inspeksi, dengan kata lain unit ini tidak akan ditolak sebagai cacat, tambahan biaya untuk memperbaiki atau *scrapping* unit produk cacat tidak akan dikeluarkan untuk perusahaan. *Proses yield* menggunakan konsep batas

spesifikasi atas dan bawah (dan dan batasan target diantara keduanya) yang mana merupakan batas didalam mendefinisikan tingkat kinerja yang dapat diterima. Untuk proses bedistribusi normal dengan batas spesifikasi satu sisi USL, perhitugn *process yield* adalah:

$$P(X < USL) = P\left(\frac{X - \mu}{3\sigma} < \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) \quad (2.6)$$

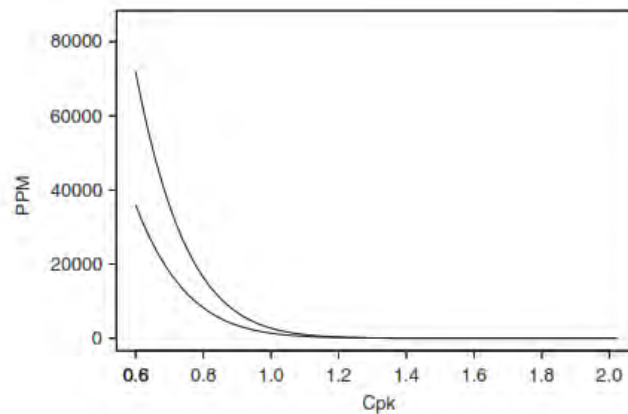
$$= P\left(\frac{1}{3}Z < Cpu\right) = P(Z < Cpu)$$

$$= \phi(3Cpu)$$

$$P(X > LSL) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} > \frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.7)$$

$$= 1 - \phi(-3Cpl) = \phi(3Cpl)$$

Dimana nilai Z mengikuti distribusi normal standar N(0,1) dengan fungsi distributif kumulatif  $\phi(x) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ . Batas atas dan batas bawah dari unit yang tidak diterima (nonconforming) dalam parts per million (PPM) yang diplotkan gambar 2.1 sebagai fungsi dari Cpk dapat dilihat di bawah ini (Pearn & Wu, 2007).



Gambar 2.4 Batas unit nonconforming dalam PPM banding Cpk

Montgomery (2009) menyarankan beberapa nilai indeks kapabilitas minimum untuk proses yang berlangsung di bawah kondisi kualitas tertentu.  $Cpk \geq 1.33$  biasanya digunakan pada *existing process*,  $Cpk \geq 1.50$  digunakan pada *new process* atau pada *existing process* dengan pertimbangan faktor keselamatan, kekuatan atau parameter kritis lainnya.  $Cpk \geq 1.67$  digunakan pada *new process* dengan pertimbangan faktor keselamatan, kekuatan atau parameter kritis lainnya. Finley (1992) menyatakan bahwa nilai indeks kritis  $Cpk$  yang dibutuhkan untuk semua proses supplier adalah 1.33 atau lebih.

Untuk nilai indeks  $Cpk \leq 1$  maka proses dinyatakan '*inadequate*', yaitu proses tidak memadai akan spesifikasi atau *production tolerances*-nya, sehingga variasi proses atau rata-rata proses yang perlu dikurangi hingga berada sedekat mungkin dengan nilai target (target value T). Dalam prakteknya, data sampel harus diambil dalam perhitungan indeks-indeks ini karena rata-rata proses dan standar deviasi biasanya tidak diketahui.

## 2.8 Perawatan

Perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas pabrik dan mengadakan perbaikan atau pergantian yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan (Assauri, 1999 dalam Putra, 2011). Keandalan mesin dan fasilitas produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan (Putra, 2011), sehingga peralatan dan mesin produksi perlu dijaga dan ditingkatkan keandalannya guna mendukung kelancaran proses produksi. Menurut Aufar *et al.* (2014) tujuan dilakukannya tindakan perawatan diantaranya adalah:

1. Menjamin ketersediaan, keandalan fasilitas (mesin dan peralatan) secara ekonomis maupun teknis.
2. Memperpanjang umur pakai fasilitas.
3. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan dalam keadaan darurat.

4. Menjamin keselamatan kerja, keamanan dalam penggunaannya.

Kegunaan perawatan tidak hanya untuk menjaga dan mencegah permesinan dan peralatan dari kegagalan dan *breakdowns*, menaikkan reabilitas, *maintainability*, dan *availability* dari sistem operasi untuk memaksimalkan produksi, tetapi juga untuk memperbaiki kualitas dan meningkatkan produktivitas, mengurangi *inventory*, dan mengurangi biaya operasi (Rotab Khan & Darrab, 2010). Kebijakan dan strategi perawatan yang baik dapat menuntun perusahaan dalam meningkatkan reabilitas dan *maintability* peralatan, memaksimalkan efektivitas peralatan keseluruhan (OEE) (zero breakdown and failure, zero accident, zero defects, etc) dan bertindak sebagai kontributor kualitas dan menaikkan produktivitas (Rotab Khan & Darrab, 2010). Aufar *et al.* (2014) menyebutkan bahwa kegiatan perawatan terbagi kedalam dua jenis pengklasifikasian, yaitu PM dan CM adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. *Preventive maintenance* (PM), kegiatan perawatan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan. Tujuan dilakukannya perawatan ini adalah:
  - a) Mencegah terjadinya kerusakan.
  - b) Mendeteksi kerusakan yang terjadi.
  - c) Menemukan kerusakan yang tersembunyi.

Dalam (Smith, 1993 dalam Aufar *et al.*, 2009) terdapat 4 kategori kebijakan perawatan yang termasuk kedalam jenis perawatan ini:

- a. *Time directed*, kegiatan perawatan pencegahan yang dilakukan secara berkala pada suatu peralatan sehingga alat tersebut kembali pada kondisi semula, sebelum alat tersebut diganti oleh alat yang baru.
- b. *Condition directed*, kegiatan perawatan pencegahan yang dilakukan sesuai dengan kondisi yang berlangsung dimana variabel waktu tidak diketahui kapan secara tepat, sehingga tidak diketahui kerusakan akan terjadi pada peralatan, oleh karena itu diperlukan prediksi waktu terjadinya kerusakan.

- c. *Finding Failure*, kegiatan perawatan pencegahan yang dilakukan dengan cara memeriksa fungsi yang tersembunyi (*hidden function*) secara *periodic* untuk memastikan kapan suatu komponen akan mengalami kegagalan.
- d. *Run to Failure*, kegiatan perawatan yang bertujuan untuk mengetahui kapan terjadinya kerusakan dengan cara membiarkan suatu alat beroperasi sampai alat tersebut mengalami kerusakan, sehingga program *corrective maintenance* dapat digunakan sebagai strategi *preventive maintenance*.
2. *Corrective maintenance* (CM), kegiatan perawatan yang tidak direncanakan untuk mengembalikan performansi kerja atau kemampuan peralatan ke kondisi semula. Tindakan yang diambil berupa penggantian komponen, perbaikan kecil, dan perbaikan besar pada akhir periode tertentu (*overhaul*).

Sedangkan menurut Dhillon (2002) perawatan biasanya dikategorikan menjadi tiga tipe, yaitu:

1. *Preventive Maintenance* (PM), yaitu semua aksi yang dilakukan sesuai rencana, periodik, dan berjadwal untuk menjaga peralatan dalam keadaan dapat bekerja selama proses pemeriksaan dan rekondisi.
2. *Corrective Maintenance* (CM), yaitu perawatan yang tidak terjadwal atau memperbaiki untuk mengembalikan item/peralatan ke kondisi yang didefinisikan. Strategi ini dilakukan karena orang/pengguna perawatan merasakan defisiensi/kegagalan.
3. *Predictive Maintenance*, yaitu penggunaan pengukuran yang modern dan metode pemrosesan sinyal untuk memprediksi secara akurat dan mendiagnosa kondisi item/peralatan selama operasi.

Peran perawatan didalam sistem manufaktur modern semakin menjadi penting dengan perusahaan mengadopsi perawatan sebagai element bisnis yang menghasilkan keuntungan (Sharma, Yadava, & Deshmukh, 2011). Sistem manufaktur sekarang beroperasi lebih efisien, efektif, dan lebih ekonomis untuk menjaga kestabilan jangka panjang perusahaan (Wang dan Hang, 2004 dalam Sharma dan Yadava, 2011).

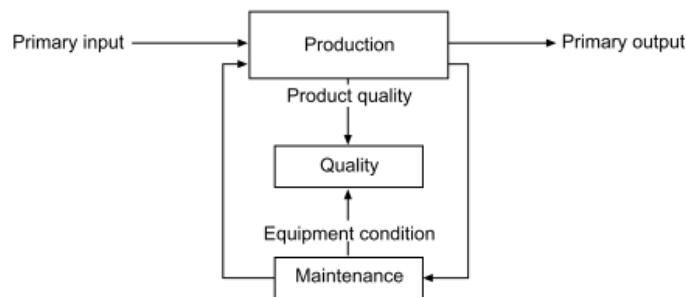
## 2.9 Hubungan perawatan dan kualitas

Perawatan dan optimasi kebijakan pengendalian kualitas telah lama diperlakukan sebagai dua masalah yang terpisah. Hubungan antara perawatan peralatan manufaktur dan kualitas produk manufaktur telah diakui secara luas saat ini. Kualitas telah menjadi salah satu faktor keputusan yang paling penting bagi konsumen dalam pemilihan persaingan produk dan servis (Montgomery, 2009). Kualitas juga menjadi strategi bisnis utama perusahaan/organisasi untuk menuju sukses, tumbuh, dan meningkatkan posisi persaingannya (Ben-Daya & Duffuaa, 1995). Seiring meningkatnya teknologi otomatisasi dan kompleksitas dalam sistem manufaktur, proses produksi juga mengalami pergeseran dari semula dilakukan oleh pekerja ke mesin. Menurut Ben-Daya & Duffuaa (2008), hal ini dapat mengakibatkan peran perawatan peralatan dalam mengendalikan kuantitas, kualitas dan biaya lebih jelas dan penting daripada sebelumnya, oleh karena itu, peralatan harus dipelihara dalam kondisi operasi yang ideal dan harus berjalan dengan efektif.

Di lingkungan yang sangat kompetitif saat ini, pengurangan biaya adalah salah satu dari isu yang paling penting didalam industri manufaktur. Menurut Njike *et al.* (2011), kegagalan mesin dianggap sebagai target utama didalam pengurangan biaya didalam departemen perawatan sehingga kualitas berperan dalam keuntungan jangka panjang sebuah perusahaan/organisasi dan telah lama menjadi sumber penelitian oleh banyak praktisi yang ingin mengembangkan strategi perawatan yang berkontribusi dalam keuntungan jangka panjang tersebut.

Peran kualitas didalam perawatan telah dibahas oleh Olilla dan Malmipuro (1999) dalam penelitiannya. Menurut Olilla dan Malmipuro (1999), permesinan yang berfungsi dengan baik merupakan syarat dari kualitas produk dan perawatan harus diambil sebagai pertimbangan akan dampaknya terhadap kualitas produk. Ben-Daya dan Duffuaa (1995) juga membahas tentang hubungan antara perawatan dan kualitas dan mengusulkan *broad framework* yang memodelkan hubungan keduanya. Mereka mengusulkan dua pendekatan untuk menghubungkan dan memodelkan hubungan ini. Pendekatan pertama berdasarkan pada ide bahwa perawatan mempengaruhi pola kegagalan pada peralatan dan menyarankan untuk dimodelkan menggunakan konsep *imperfect maintenance*

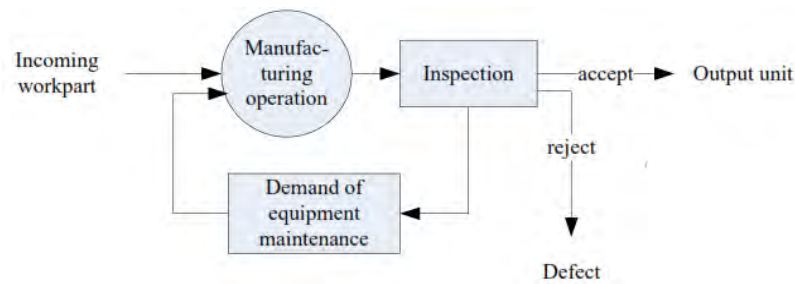
yang mana laju kegagalan peralatan akan turun setelah dilakukan PM dan konsekuensinya akan memperlambat penuaan pada peralatan. Pendekatan yang kedua berdasarkan pada pendekatan Taguchi terhadap kualitas, yang mana proses perawatan akan mengurangi deviasi karakteristik kualitas produk dari nilai target perusahaan. *Framework* interaksi yang diusulkan oleh Ben-Daya dan Duffuaa dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2.5 Hubungan produksi, kualitas dan perawatan

Sumber: Ben-Daya dan Duffuaa (1995)

Penelitian terbaru tentang hubungan antara pengujian kualitas dan perawatan juga telah dilakukan oleh Kurniati *et al.*(2015). Didalam penelitiannya mereka mengusulkan *framework* interaksi antara pengujian kualitas dan perawatan yang menyediakan pemikiran komprehensif managerial dalam perawatan peralatan. Mereka juga meneliti dan memodelkan hubungan antara inspeksi kualitas dan perawatan. *Framework* interaksi antara pengujian kualitas dan perawatan yang diusulkan dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini dimana hasil dari pengujian kualitas menjadi pemicu terhadap kebutuhan perawatan permesinan.



Gambar 2.6 Framework interaksi pengujian kualitas dan perawatan didalam sistem produksi

Sumber: Kurniati *et al.* (2015)

## 2.10 Posisi penelitian

Tapiero (2009) merupakan peneliti pertama yang memformulasikan *feedback* masalah kontrol perawatan stokastik yang berdasarkan dari kualitas produk. Hsu dan Kuo (1995) meneliti tentang performa dari inspeksi dan kebijakan perawatan yang berasal dari 100% inspeksi lot produksi dan mengusulkan aktivitas *preventive/corrective maintenance* ketika fraksi produk gagal (defec) mencapai batas *threshol*d. Penelitiannya menunjukkan kebijakan optimal sensitif terhadap beberapa input parameter seperti *input rate of parts*, *process switch rate*, biaya pengendalian kualitas, dan probabilitas memproduksi produk defek.

Mehdiet *al.* (2010) juga menggunakan 100% kebijakan inspeksi untuk menentukan proporsi produk yang tidak diterima (non-conforming) dari setiap lot yang diproduksi dan kemudian dibandingkan terhadap beberapa *threshol*d yang diberikan untuk membuat keputusan untuk PM dan kegiatan keseluruhan. Mereka mengembangkan penggabungan pengendalian kualitas dan kebijakan PM untuk sistem produksi *imperfect* yang memproduksi *conforming* and *non-conforming units*. Tujuan penelitian mereka adalah menemukan strategi optimal yang meminimalkan total biaya rata-rata keseluruhan yang meliputi kualitas, pemeliharaan dan biaya persediaan.

Njike *et al.* (2011) mengusulkan kombinasi perawatan dan rencana produksi yang fokus pada produk cacat dibandingkan dengan kegagalan mesin akibat usia. Mereka menyajikan interaksi antara produk cacat dan produksi,



rencana pemeliharaan *preventive* dan *corrective* untuk mengembangkan model stokastik kontrol yang optimal berdasarkan feedback interaktif dari kualitas produk. Tujuannya untuk meminimasi biaya keseluruhan yang diharapkan dari aktivitas pemeliharaan, *inventory holding*, dan *backlog* dengan menggunakan teknik komputasi optimal kebijakan kontrol. Hasil yang diperoleh menunjukkan bagaimana proses dapat mengontrol lebih baik berdasarkan produk cacat dan *inventory*.

Zhanget al.(2015) dan Panagiotidou dan Tagaras (2010) menyarankan integrasi *contion-based maintenance* dan strategi statistika proses kontrol dimana pemilihan perawatan dibuat berdasarkan *feedback* informasi kualitas dari grafik kontrol (control chart).

Bouslah et al (2015), melakukan pengintegrasian produksi, *acceptance sampling plan* dan perawatan. Mereka mengembangkan model baru pengintegrasian produksi *lot sizing*, kontrol tingkat produksi, *inventory control*, *acceptance sampling plan* tunggal dan strategi PM. Tujuan penelitiannya adalah untuk merancang dan mengoptimalkan penggabungan produksi, kontrol kualitas dan kebijakan perawatan. Hasil dan kontribusi penelitiannya adalah kerangka modeling yang diusulkan dapat memecahkan masalah optimasi dalam sistem manufaktur. Modeling yang diusulkan dapat memecahkan masalah optimisasi didalam sistem manufaktur. Adapun posisi penelitian penulis dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Posisi penelitian

Pengarang (tahun)	Integrasi/interaksi						Metode
	Pera- watan		Pengendalian kualitas				
	PM	CBM	100%	Control chart	ASP	VSP	
Tapiero (1986)		√	√				Program linear, program dinamik dengan metode numerik
Hsu dan Kuo (1995)		√	√				Studi numerik menggunakan tes hipotesis (digunakan untuk mengilustrasikan aplikasi model) dan analisis sensitivitas digunakan untuk mengindikasi perubahan efek dari input parameter.
Mehdi (2010)	√		√				Model matematika dan prosedur numerik seperti program simulasi dilakukan untuk menemukan strategi optimal.
Panagiotidou dan Tagaras (2010)		√	√				Metode eksperimen numerik.
Njike (2011)		√	√				Program dinamik stokastik dan metode numerik.
Zhang <i>et al.</i> (2015)		√		√			Probabilitas keadaan operasional saat periode <i>delayed</i> diestimasi oleh teori bayesian, model markov dibuat untuk proses CBM dan model divalidasi dengan <i>Tecnomatix-based simulation</i> .
Bouslah <i>et al.</i> (2015)	√					√	<i>Simulation-based optimization</i> (software arena simulation), optimasi algoritma (prosedur enumerasi, desain eksperimen / DOE, ANOVA, dan metodologi <i>respon surface</i> )
Penelitian ini	√					√	Penyelesaian model matematika, <i>numeric example</i> , analisis perilaku model dengan simulasi.

Dalam penelitiannya Bouslah *et al.*(2015) menggunakan *single atribut sampling plan*. Adapun model matematisnya adalah sebagai berikut:

### 2.10.1 Model kebijakan pengendalian kualitas (Bouslah, 2015)

Kriteria keputusan untuk menerima atau menolak lot produksi dapat dilihat berdasarkan pada jumlah defektif yang ditemukan didalam *random sample* (n). Apabila  $X_k$  adalah variabel yang menyatakan jumlah defektif didalam k lot produksi, dimana  $k = 1, 2, \dots, \infty$  dan  $\delta_k$  adalah waktu selesai proses produksi. (waktu ketika k lot selesai diproses). Maka  $X_k$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$\frac{\partial X_k}{\partial t} = p(a(t)) \cdot u(t, a(t)), \forall t \in [\theta_k, \delta_k], \text{ dan } (\theta_k)=0 \quad (2.8)$$

Jika  $Y_k$  adalah variabel yang menyatakan jumlah defektif didalam lot. Probabilitas menemukan j defektive didalam lot adalah  $0 \leq j \leq n$ , dimana didalam sampel n dari lot ke k ( $k = 1, 2, \dots, \infty$ ), dapat dihitung berdasarkan distribusi binomial seperti sebagai berikut:

$$\Pr(Y_k=j) = \binom{n}{j} \left(\frac{X_k}{Q}\right)^j \left(1 - \frac{X_k}{Q}\right)^{n-j} \quad (2.9)$$

Probabilitas penerimaan k lot yang diproduksi ( $P_a^k(.)$ ) dimana  $k = 1, 2, \dots, \infty$  dihitung sebagai berikut:

$$P_a^k(n, c, Q, X_k(.)) = \Pr(Y_k \leq c) = \sum_{j=0}^c \Pr(Y_k=j) \quad (2.10)$$

Persamaan *Average outgoing quality* ( $AOQ_k$ ) adalah sebagai berikut.

$$AOQ_k(n, c, Q, X_k(.)) = \frac{\sum_{j=0}^c \Pr(Y_k=j) (X_k - j)}{\sum_{j=0}^c \Pr(Y_k=j) (Q - Y_k) + \sum_{j=c+1}^n \Pr(Y_k=j) (Q - X_k)} \quad (2.11)$$

Nilai maksimum dari  $AOQ_k$  disebut AOQL (*Average Outgoing Quality Limit*) yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$AOQL(n, c, Q) = \max_{0 \leq X_k \leq Q} \{ AOQ_k(.) \} = y(c) \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{Q} \right) \quad (2.12)$$

Dimana,  $y(c)$  adalah:

$$y(c) = \frac{e^{-n p_M} (n p_M)^{c+2}}{c!} \quad (2.13)$$

Diketahui  $p_M$  adalah nilai rasio  $X_k/Q$  ketika AOQL terjadi. Praktisi manufaktur dapat memilih kombinasi dari jumlah lot produksi  $Q$  dan parameter *acceptance sampling plan*  $n$  dan  $c$  yang mana AOQL (.) tidak melebihi batas maksimum yang diberikan konsumen yang didenotasikan  $AOQL_{\max}$ . Jadi, dari persamaan dapat kita peroleh

$$y(c) \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{Q} \right) \leq AOQL_{\max} \quad (2.14)$$

### 2.10.2 Kebijakan perawatan (Bouslah, 2015)

Kebijakan overhaul dilakukan jika pengujian 100% dari  $k$ th lot ditolak ( $Y_k > c$ ). Jika  $\Omega_k(.)$  adalah fungsi biner dimana bernilai 1 jika overhaul dilakukan berdasarkan proporsi defektive didalam  $k$ th lot dan 0 jika overhaul tidak dilakukan. Kebijakan pengendalian overhaul dijelaskan pada persamaan di bawah ini.

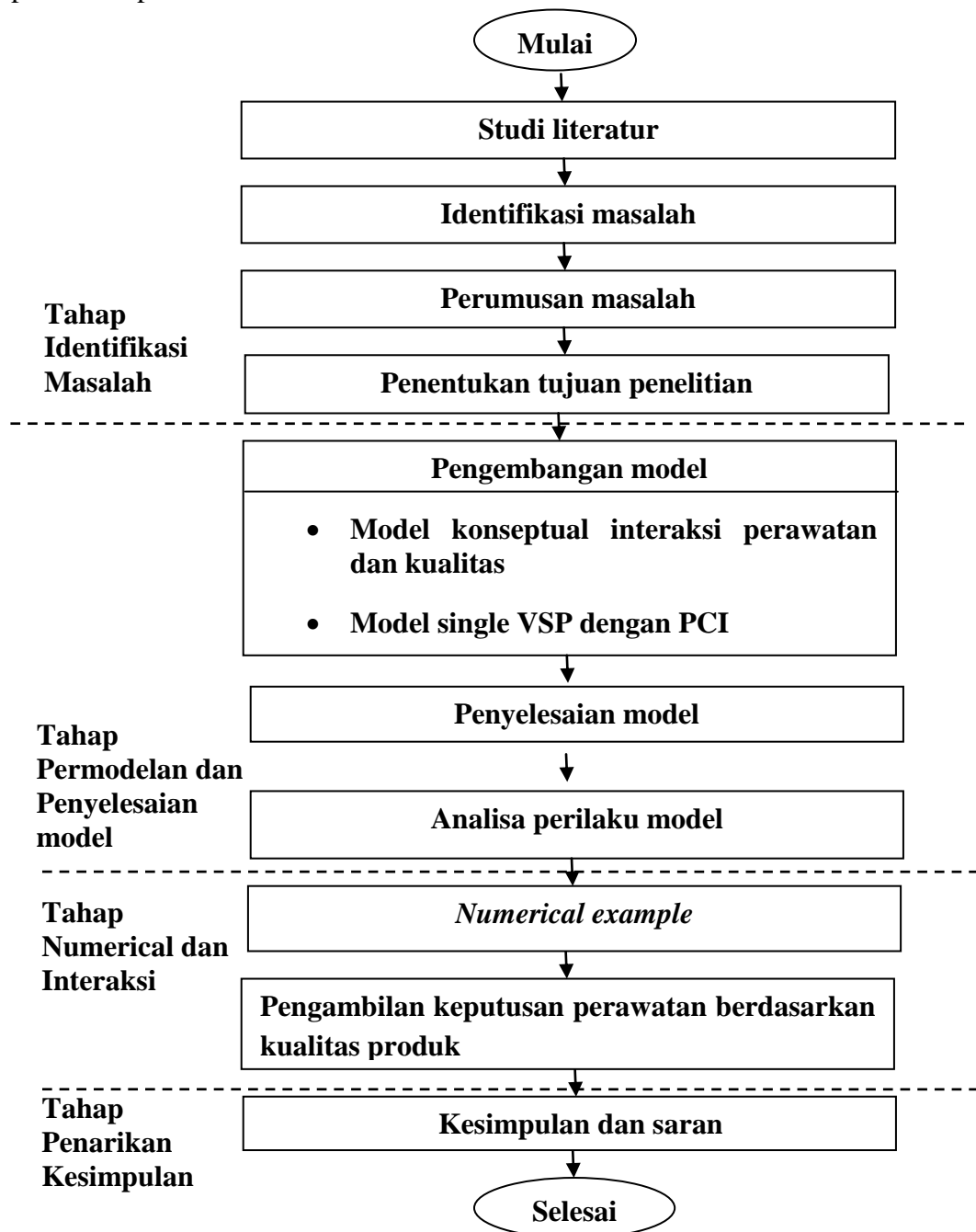
$$\Omega_k(n, c, Q, X_k(.)) = \begin{cases} 1 & \text{jika } \{Y_k > c\} \text{ dan } \left\{ \frac{X_k}{Q} \geq r \right\} \\ 0 & \text{jika sebaliknya} \end{cases} \quad (2.15)$$

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini digunakan sebagai acuan agar penelitian dapat berjalan secara terstruktur sesuai dengan kerangka penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Kerangka penelitian

### **3.1 Tahap Identifikasi Masalah**

Pada tahap ini akan terdiri dari studi literatur, identifikasi masalah, perumusan masalah dan penetapan tujuan penelitian.

#### **3.1.1 Studi Literatur**

Tahap ini merupakan tahap yang dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan ide dan topik penelitian serta *gap* permasalahan. Tahapan ini dilakukan dengan mengumpulkan dan membaca berbagai referensi yang berhubungan dengan penelitian, baik berupa jurnal, buku, tesis dan sebagainya. Studi literatur dalam penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan dan membaca jurnal-jurnal internasional seperti:

- Jurnal *acceptance sampling*
- Jurnal *acceptance sampling* dengan variabel
- Jurnal PCI
- Jurnal *acceptance sampling* dengan PCI
- Jurnal integrasi model perawatan dan kualitas dan lain sebagainya.

Studi literatur ini dilakukan untuk menentukan topik penelitian dan mengidentifikasi gap penelitian. Selanjutnya dilakukan perumusan masalah dan penetapan tujuan penelitian. Tujuan penelitian digunakan sebagai dasar yang akan dikerjakan dalam penelitian

### **3.2 Tahap permodelan dan penyelesaian model**

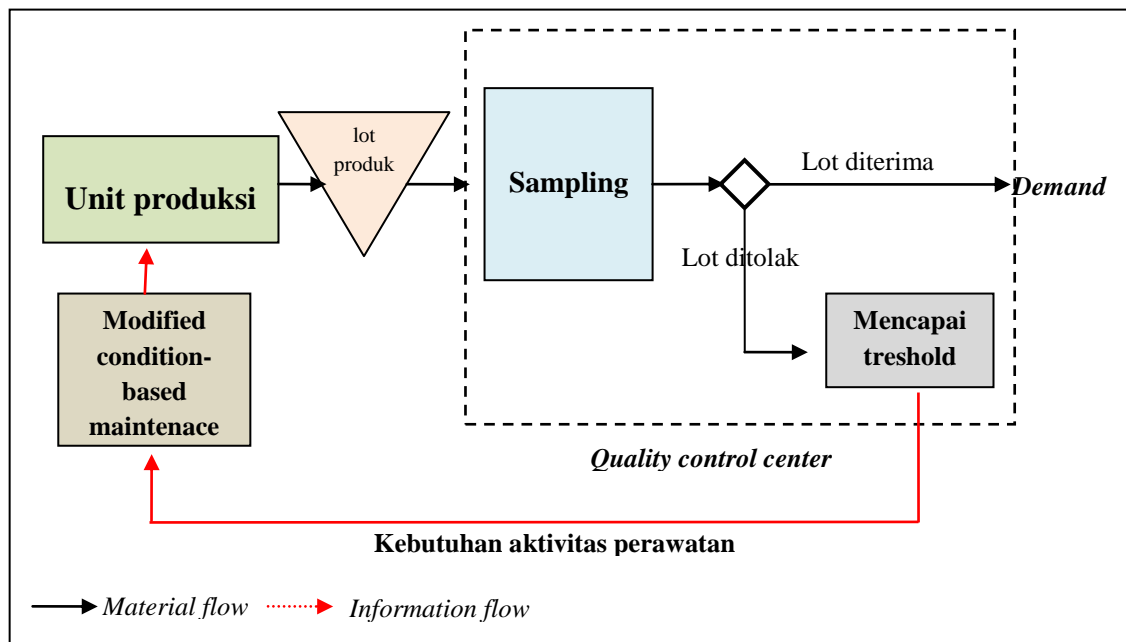
Pada bab ini akan terdiri dari pengembangan model konseptual interaksi perawatan dan kualitas dan model *single variable acceptance sampling plan* menggunakan PCI serta penyelesaian permodelannya.

### 3.2.1 Model konseptual interaksi perawatan dan kualitas

Penelitian ini mengusulkan tentang interaksi antara perawatan dan kualitas produk untuk sistem produksi yang bergantung pada reliabilitas dan deteriorasi kualitas. Unit produksinyadigunakan pada operasi yang terus menerus, dimana degradasi sistem dapat meningkatkan probabilitas kegagalan dan peningkatan *fraction non-conforming product*, oleh karena itu peran kegiatan perawatan dibutuhkan untuk menjaga dan mengembalikan performansi dari unit produksi. Untuk merespon terhadap kejadian-kejadian kegagalan, kebijakan CM (minimal repair) seringkali dilakukan, tetapi dalam lingkup pencegahan degradasi sistem, kebijakan perawatan (modified CBM) dilakukan untuk menjaga dan meningkatkan reliabilitas peralatan produksi dan mengembalikan kualitas produk pada level yang diinginkan dengan tujuan dapat memaksimalkan produksi, memperbaiki kualitas produk dan meningkatkan produktivitas.

Keadaan deteriorasi diasumsikan dari banyaknya jumlah lot yang ditolak secara berurutan mencapai batas yang ditentukan, yang mana kondisi ini akan men-*trigger* keputusan aktivitas perawatan. Pengendalian kualitas digunakan untuk menjamin produk yang dihasilkan bertemu atau sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, dimana dalam penelitian ini digunakan *single variable acceptance sampling plan* (VSP) dengan mempertimbangkan PCI sebagai kriteria keputusannya. VSP mengadoptasi PCI sebagai kriteria pemilihan untuk menerima atau menolak lot serta menentukan jumlah sample dan *critical value*, dimana baik *quality level* dan resiko terhadap konsumen dan produsen terpenuhi. Pengembangan model konseptual interaksi antara perawatan dan kualitas produk dijelaskan pada *framework* interaksi sistem produksi, pengendalian kualitas dan kebijakan perawatan yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.





Gambar 3.2 *Framework* interaksi sistem produksi, pengendalian kualitas dan perawatan

### 3.2.2 Model *single VSP* menggunakan *PCI* dan penyelesaiannya.

Pada subbab model *single VSP* ditampilkan formulasi-formulasi model matematis seperti model matematis indeks kapabilitas yang digunakan untuk *VSP*. Didalam subbab ini juga membahas *operating procedure* penerimaan dan penolakan lot yang digunakan, penentuan *plan parameter* serta model matematis lainnya yang dibutuhkan.

Ditahap ini, formulasi model matematis yang telah dibuat diselesaikan untuk mendapatkan *plan parameter* yaitu jumlah sampel ( $n$ ) dan critical value ( $k$ ) untuk masing-masing *quality level* (RQL, AQL) dan *allowable risk* ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) yang diberikan. *Plan parameter* didapatkan dari menyelesaikan dua persamaan non-linier secara simultan menggunakan software Matlab.

Selain itu, analisa perilaku model yang diusulkan juga disajikan didalam bab ini. Dalam analisa perilaku model, dilakukan pengamatan dan interpretasi terhadap hasil dari penyelesaian model desain *VSP* dengan *PCI* yang dibuat.

### 3.3 Tahap *Numerical Example* dan Interaksi

Pada bab ini, *numerical example* digunakan untuk mendemonstrasikan implementasi dari desain *sampling plan* yang diusulkan. Pada penelitian ini, studi kasus diambil dari penelitian Wu, *et al.* (2012) untuk mengilustrasikan bagaimana *sampling plan* yang diusulkan dapat diterapkan pada data aktual yang yang didapatkan dari pabrik. Wu, *et al.* (2012) menggunakan indeks Cpk di dalam penelitiannya dimana juga digunakan di dalam penelitian ini. Wu, *et al.* (2012) melakukan studi kasus tentang pabrik pembuatan komponen elektronik. Pabrik tersebut memproduksi resistor. *Acceptance sampling* pada studi kasus ini digunakan sebagai salah satu aktivitas inspeksi antar divisi (divisi A ke divisi B) didalam pabrik pembuatan resistor.

Data karakteristik kualitas produk diambil, dilihat dari setting yang digunakan. Karakteristik kualitas yang digunakan biasanya merupakan karakteristik kualitas produk yang kritis (USL atau LSL). Uji normalitas kemudian dilakukan pada data sampel yang didapatkan dari hasil *generate data* dengan software Matlab. Setelah itu dihitung indeks kapabilitasnya dan dibandingkan dengan *critical value*  $k$  sebagai kriteria keputusan penerimaan atau penolakan lot. *Operating Characteristic* (OC) *curve* untuk masing-masing plan parameter  $(n, k)$  akan ditampilkan. Keputusan aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan. Dalam subbab interaksi model, akan dijelaskan tentang prosedur keputusan dilakukannya aktivitas perawatan (modified CBM) terhadap kualitas produk yang didapatkan dari hasil *sampling plan*.

Setelah melakukan *numerical example*, maka selanjutnya dilakukan pengambilan keputusan perawatan berdasarkan berdasarkan penggunaan informasi dari hasil *acceptance sampling* yang telah dibuat. Pada penelitian ini penulis mengadopsi konsep *tightened-normal-tightened* (TNT) *sampling plan* sebagai penentuan batasan/*threshold* pada kualitas produk untuk kriteria keputusan dilakukannya aktivitas perawatan. Keputusan aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan. Jika  $x$  adalah jumlah banyaknya lot yang ditolak secara berurutan, maka dalam penelitian ini akan ditetapkan nilai  $x$  yang akan disimulasikan pada semua lot

yang diinspeksi. Pada penelitian ini, simulasi akan dilakukan sebanyak tiga kali untuk nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  yang berbeda. Untuk setiap simulasi akan dilakukan sebanyak 100 kali pada jumlah sampel yang sama.

### **3.4 Tahap Penarikan Kesimpulan dan saran**

Dari hasil keseluruhan tahapan ini maka dapat ditarik suatu kesimpulan yang menjawab permasalahan penelitian sehingga pada tahap akhir ini akan berisikan penarikan kesimpulan dan saran dari penelitian berdasarkan pada hasil pengolahan dan analisa data. Isi dari kesimpulan ini berupa jawaban perihal tujuan penelitian yang telah dirumuskan pada Bab I di atas, sedangkan saran berisikan tentang masukan-masukan untuk penelitian-penelitian dimasa yang akan datang.

## BAB 4

### PENGEMBANGAN MODEL

Pengembangan model akan terdiri dari subbab perancangan model *single* VASP dengan PCI, penyelesaian formulasi model matematis yang telah dibuat, serta analisa perilaku model.

#### 4.1 Model single VASP menggunakan indeks Cpk

*Process Capability Indices* (PCI) menyediakan pengukuran secara numerik apakah proses manufaktur sesuai dengan level yang ditentukan dari toleransi produksi atau tidak. Indeks ini merupakan *tool* yang efektif untuk menganalisis kemampuan proses and jaminan kualitas. Menurut Pearn dan Wu (2006), indeks kemampuan proses dikenal dalam industri manufaktur untuk mengukur apakah proses itu mumpuni dalam memproduksi produknya didalam toleransi manufaktur tertentu.

Didalam penelitian ini akan dibuat perancangan VASP berdasarkan indeks Cpk. Menurut Kane (1986), terdapat dua bentuk ekivalen indeks Cpk. Formulasi pertama berasal dengan mempertimbangkan batas spesifikasi atas dan bawah secara terpisah. Formulasi kedua menggunakan deviasi atau penyimpangan rata-rata proses dari titik tengah batas spesifikasi. Indeks *Cpk* didesain untuk mengukur besarnya variabilitas dari keseluruhan proses, dimana digunakan untuk proses dengan *two-side specification limits*, LSL dan USL dengan catatan bahwa proses harus terbukti stabil (di bawah kendali statistik/ 'in-control') untuk menghasilkan estimasi yang *reliable* dari kemampuan proses. Indeks ini dikembangkan dengan mempertimbangkan besarnya variabilitas proses serta lokasi proses yang kemudian didefinisikan oleh Kane (1986) dengan:

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} = \frac{d - |\mu - M|}{3\sigma} \quad (4.1)$$

Dimana:

$d$  = half-length of spesification interval;  $(USL-LSL)/2$   
 $M$  = midpoint of spesification interval;  $(USL+LSL)/2$   
 $\mu$  = rata-rata proses  
 $\sigma$  = standard deviasi proses  
 $USL$  = upper spesification limit  
 $LSL$  = lowerspesification limit

Indeks  $Cpk$  dianggap sebagai *yield-based index* karena indeks ini menyediakan batas pada *process yield* untuk proses berdistribusi normal, yaitu  $\Phi(3Cpk)-1 \leq \text{Yield} < \Phi(3Cpk)$  (Boyles, 1991 dalam Pearn dan Wu, 2012) dimana  $\Phi(\bullet)$  adalah *cumulatif distribution function* (CDF) dari distribusi normal standar. Indeks ini juga dianggap sebagai ukuran yang tepat untuk paradigma kemajuan peningkatan kualitas dimana pengurangan variabilitas dijadikan prinsip dan *proses yield* dianggap sebagai ukuran utama keberhasilan, oleh karena itu indeks  $Cpk$  dapat digunakan sebagai patokan kualitas keberterimaan produk.

Dalam prakteknya, rata-rata proses dan standard deviasi proses ( $\mu$  dan  $\sigma$ ) tidak diketahui, data sampel harus diambil untuk menghitung indeks  $Cpk$ . Untuk mengestimasi indeks  $Cpk$ , Chou & Owen (1989) menggunakan  $\hat{Cpk}$  sebagai gantinya atau dikenal dengan *natural estimator*. *Natural estimator*  $\hat{Cpk}$  didapatkan dengan mengganti rata-rata proses  $\mu$  dan standar deviasi konvensional  $\sigma$  dengan

$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$  dan  $s = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2}$ . Adapun persamaan *natural estimator*

$\hat{Cpk}$  adalah sebagai berikut (Pearn dan Wu, 2007):

$$\hat{C}_{pk} = \frac{d - |\bar{x} - M|}{3s} \quad (4.2)$$

Dengan asumsi normalitas, Lin dan Pearn (2004) kemudian mendapatkan persamaan CDF yang tepat dari *natural estimator*  $\hat{Cpk}$  dengan menggunakan teknik integrasi yang sama dengan yang disajikan oleh Vännman (1997), yang mana merupakan campuran antara distribusi chi-square dan distribusi normal. Adapun persamaan CDF estimator  $\hat{Cpk}$  adalah sebagai berikut:

$$F_{\hat{c}_{pk}}(y) = 1 - \int_0^{b\sqrt{n}} G\left(\frac{(n-1)(b\sqrt{n}-t)^2}{9ny^2}\right) \times [\phi(t + \xi\sqrt{n}) + \phi(t - \xi\sqrt{n})] dt,$$

(4.3)

Untuk  $y > 0$ , dimana  $b = \frac{d}{\sigma}$ ,  $\xi = \frac{\mu - M}{\sigma}$ ,  $G(\cdot)$  adalah CDF dari distribusi chi-kuadrat dengan derajat kebebasan  $n - 1$ ,  $\chi_{n-1}^2$ , dan  $\phi(\cdot)$  adalah *probability density function* (PDF) dari distribusi normal standar  $N(0, 1)$ .

#### 4.1.1 Parameter plan

Kriteria penerimaan pada *acceptance sampling plan* dapat diukur berdasarkan kurva *operating characteristic* (OC), dimana pada kurva ini mengakomodasi dua *allowable risk* yaitu  $\alpha$  dan  $\beta$  dan dua *quality level*, *Rejectable Quality Level* (RQL) dan *Acceptable Quality Level* (AQL). Kedua risiko ( $\alpha$  dan  $\beta$ ) harus dipertimbangkan didalam membuat ASP karena masing-masing pihak, produsen dan konsumen, ingin melindungi *quality level* mereka sehingga penentuan *plan parameter*, yaitu jumlah sampel yang dibutuhkan dan *critical acceptance value* ( $n, k$ ) adalah solusi dari dua persamaan non-linier di bawah ini:

$\Pr\{\text{accepting product} \mid \text{fraction of defectives}$

$$p = AQL\} \geq 1 - \alpha \quad (4.4)$$

$\Pr\{\text{accepting product} \mid \text{fraction of defectives}$

$$p = RQL\} \leq \beta \quad (4.5)$$

AQL yang berdasarkan pada indeks  $C_p$  disebut  $C_{AQL}$ . Montgomery (2009) mendefinisikan AQL sebagai *the poorest level of supplier's quality process that customer would consider acceptable as process average*, sedangkan RQL yang berdasarkan indeks  $C_p$  disebut  $C_{RQL}$ . Montgomery (2009) mendefinisikan RQL sebagai *the poorest quality level that customer is willing to accept*. ( $C_{AQL}, 1 - \alpha$ ) dan ( $C_{RQL}, \beta$ ) merupakan dua titik yang dibutuhkan pada kurva OC yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan *plan parameter* ( $n, k$ ).

Untuk proses manufaktur dengan nilai target berada pada titik tengah batas spesifikasi ( $T = M = 0$ ) maka indeks dapat ditulis sebagai berikut:

$C_{pk} = \left( \frac{d}{\sigma} - |\xi| \right) / 3$  dimana  $\xi = (\mu - M) / \sigma$ . Jika  $C_{pk} = C$ ,  $b = d/\sigma$  dapat diekspresikan sebagai  $b = 3C + |\xi|$ , maka *operating characteristic* (OC) function  $Pa(C_{pk})$ , adalah:

$$Pa(C_{pk}) = P(\hat{C}_{pk} \geq k) = 1 - P(\hat{C}_{pk} < k) = 1 - F_{\hat{C}_{pk}}(k)$$

$$\int_0^{b\sqrt{n}} G\left(\frac{(n-1)(b\sqrt{n}-t)^2}{9nk^2}\right) \times (\Phi(t + \xi\sqrt{n}) + \Phi(t - \xi\sqrt{n})) dt \quad (4.6)$$

Probabilitas penerimaan produk dapat dituliskan dengan persamaan  $\pi_A(C_{pk}) = Pa(C_{pk})$ .

Dengan mempertimbangkan probabilitas penerimaan produk  $Pa(C_{pk})$ , maka penentuan *plan parameter* ( $n, k$ ) berdasarkan indeks  $C_{pk}$  harus memenuhi dua kondisi pada *quality level* dan *allowable risk* di bawah ini:

$$\pi_A(C_{AQL}) = Pa(C_{AQL}) \geq 1 - \alpha \quad (4.7)$$

dan

$$\pi_A(C_{RQL}) = Pa(C_{RQL}) \leq \beta \quad (4.8)$$

*Plan parameter* ( $n, k$ ) dapat diperoleh dengan menyelesaikan dua persamaan non-linier berikut secara bersama-sama. Adapun persamaanya adalah sebagai berikut:

$$\left[ \int_0^{b_A\sqrt{n}} G\left(\frac{(n-1)(b_A\sqrt{n}-t)^2}{9nk^2}\right) \times (\Phi(t + \xi\sqrt{n}) + \Phi(t - \xi\sqrt{n})) dt \right] - (1 - \alpha) \geq 0 \quad (4.9)$$

dan

$$\left[ \int_0^{b_R\sqrt{n}} G\left(\frac{(n-1)(b_R\sqrt{n}-t)^2}{9nk^2}\right) \times (\Phi(t + \xi\sqrt{n}) + \Phi(t - \xi\sqrt{n})) dt \right] - \beta \leq 0 \quad (4.10)$$

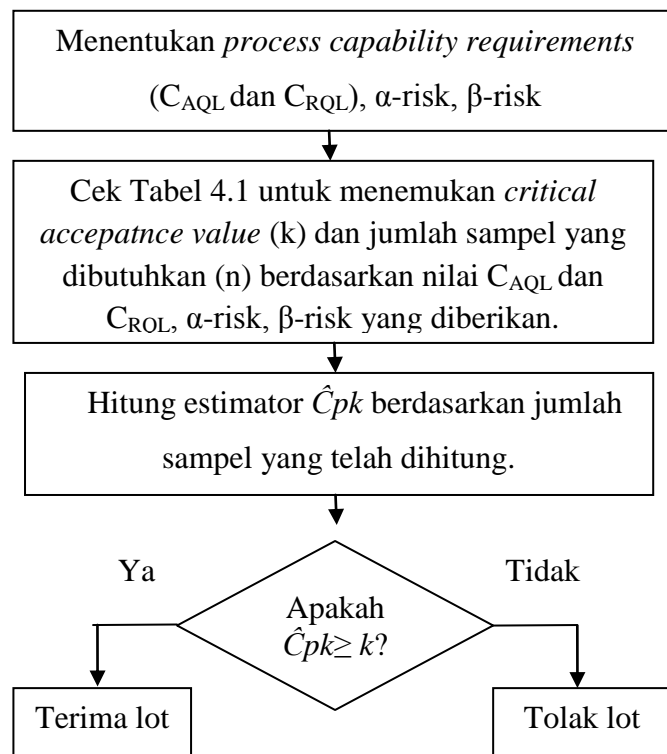
Dimana:

$$b_A = 3C_{AQL} + |\xi|$$

$$b_R = 3C_{RQL} + |\xi|, C_{AQL} > C_{RQL}$$

#### 4.1.2 Prosedur operasi

Adapun prosedur operasi pada desain VASP yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Prosedur operasi *single* VASP dengan PCI

*Unbiased estimator*  $\hat{C}_p$  akan menentukan apakah lot yang diinspeksi dapat diterima atau ditolak berdasarkan perbandingan dengan  $k$ . Apabila  $\hat{C}_p \geq k$  maka terima lot, jika tidak maka tolak.



## 4.2 Penyelesaian model

Untuk mengilustrasikan bagaimana menyelesaikan dua persamaan non-linier diatas, penulis menampilkan *surface and countour plot* dari persamaan 4.11 dan 4.12 untuk menunjukkan solusi dari persamaan 4.9 dan 4.10.

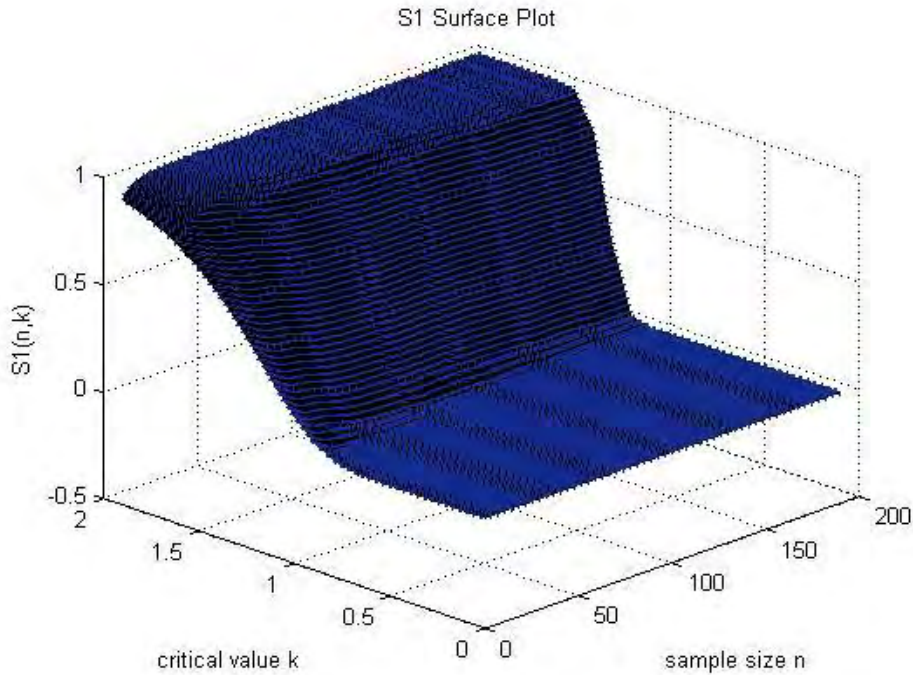
$$S_1(n, k) = \int_0^{b_A \sqrt{n}} G \left( \frac{(n-1)(b_A \sqrt{n} - t)^2}{9nk^2} \right) x \left( \Phi(t + \xi \sqrt{n}) + \Phi(t - \xi \sqrt{n}) \right) dt - (1 - \alpha)$$

(4.11)

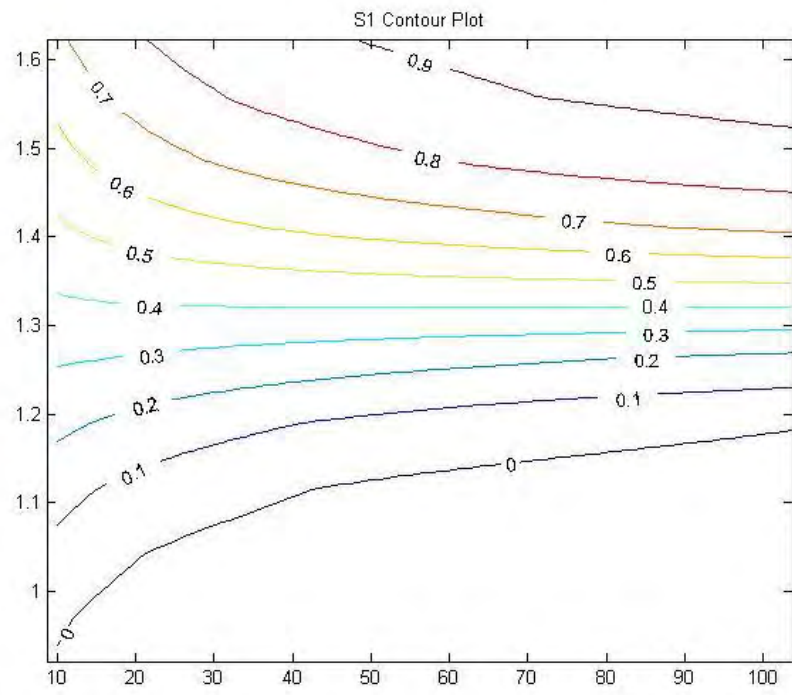
$$S_2(n, k) = \int_0^{b_R \sqrt{n}} G \left( \frac{(n-1)(b_R \sqrt{n} - t)^2}{9nk^2} \right) x \left( \Phi(t + \xi \sqrt{n}) + \Phi(t - \xi \sqrt{n}) \right) dt - (1 - \alpha)$$

(4.12)

Untuk  $C_{AQL}=1.33$  dan  $C_{RQL}=1.00$  dengan  $\alpha$ -risk=0.05 dan  $\beta$ -risk =0.10 *surface and countour plot* dari persamaan 4.11 ditunjukkan pada Gambar 4.2 (a)-(b), sedangkan *surface and countour plot* dari persamaan 4.12 ditunjukkan pada Gambar 4.3 (a)-(b).

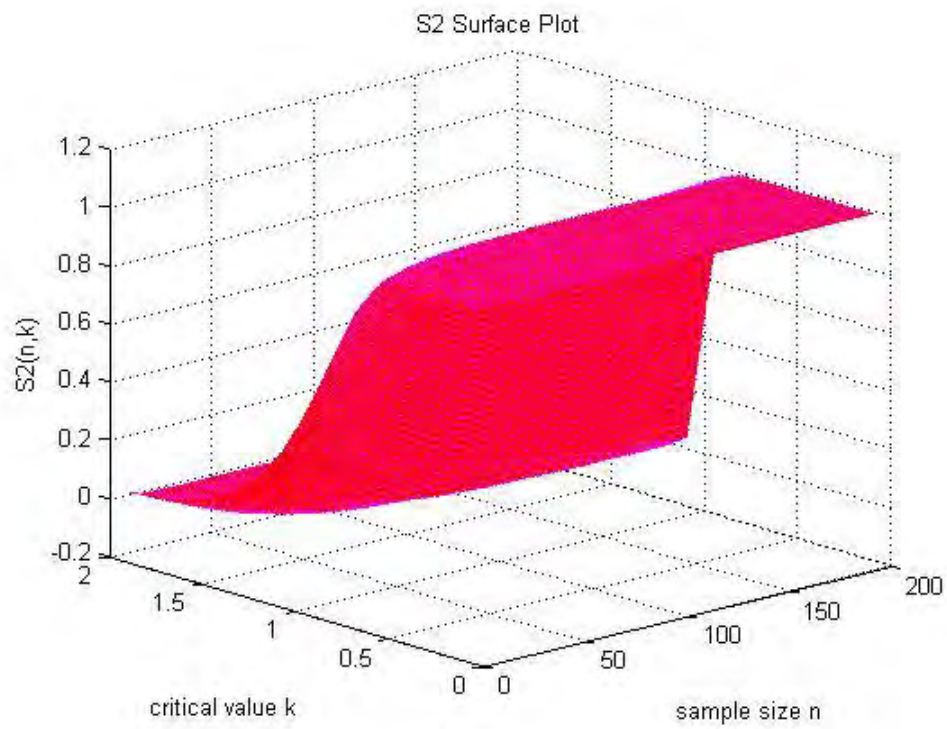


(a)

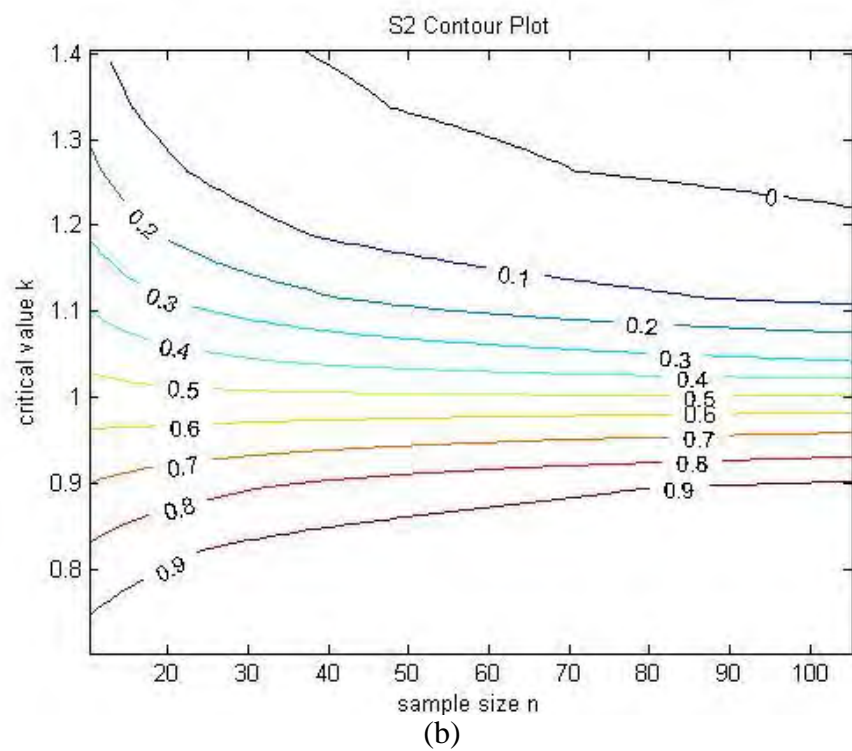


(b)

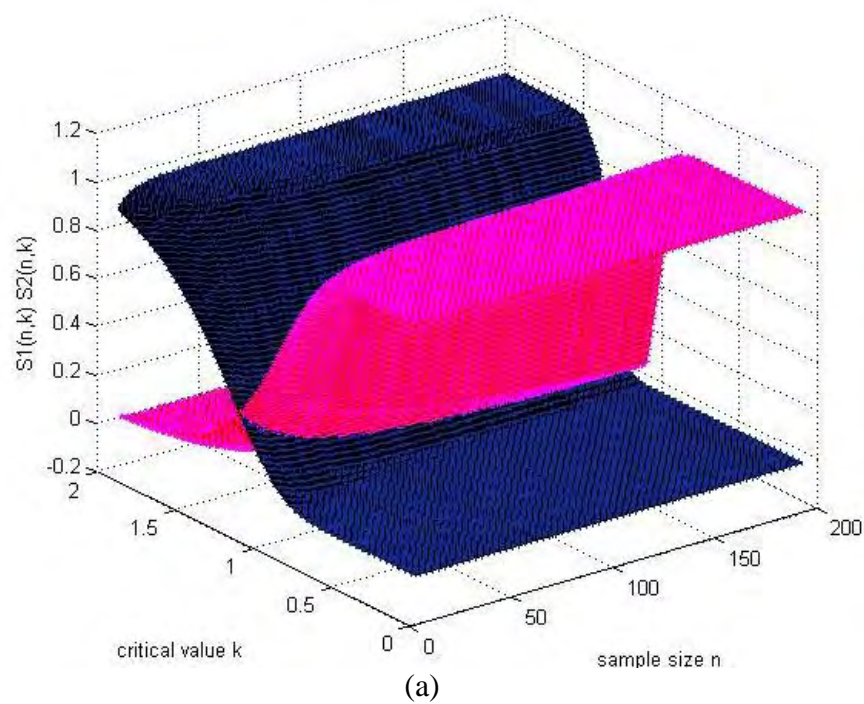
Gambar 4.2. (a) *Surface plot of  $S_1(n, k)$* , (b) *Countour plot of  $S_1(n, k)$*

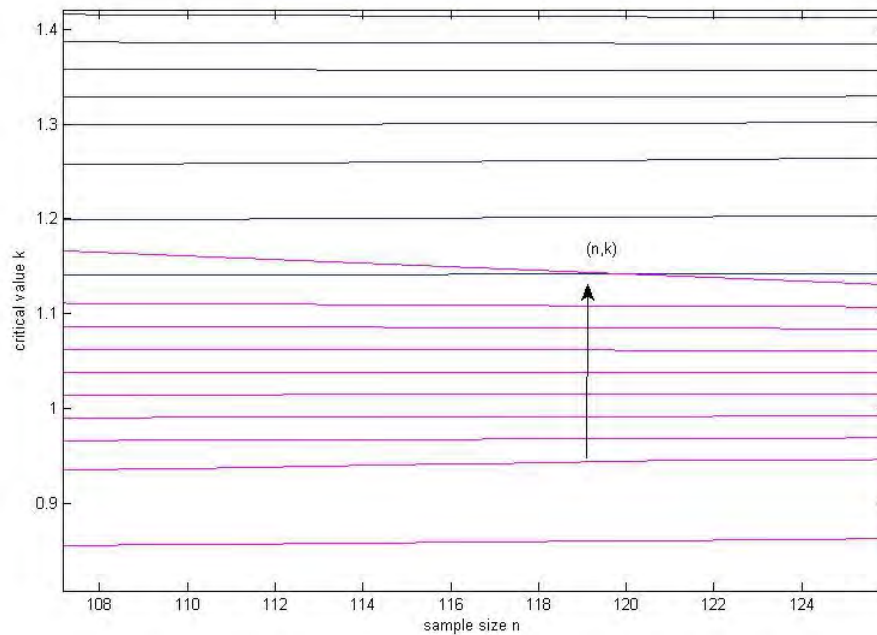


(a)



Gambar 4.3. (a) *Surface plot of  $S_2(n, k)$* , (b) *Countour plot of  $S_2(n, k)$*





(b)

Gambar 4.4 (a) *Surface plot of  $S_1$  and  $S_2$  (n,k)* (b) *Countour plot of  $S_1$  and  $S_2$ (n,k)*

Dari Gambar 4.4 (b), dapat kita lihat bahwa garis perpotongan interaksi antara  $S_1(n,k)$  dan  $S_2(n,k)$  pada level 0 adalah  $(n,k)=(119, 1.19)$ , dimana jumlah minimum sampel yang dibutuhkan adalah 60 dan *critical acceptance value* adalah 1.19 untuk  $C_{AQL}=1.33$  dan  $C_{RQL}=1.00$  dengan  $\alpha$ -risk=0.05 dan  $\beta$ -risk =0.01. Hal ini dapat dibuktikan pada tabel 4.1 di bawah.

Dua persamaan dua non-linier diatas kemudian diselesaikan menggunakan software MATLAB untuk mencari solusi dari persamaan tersebut, dimana solusinya merupakan plan parameter yaitu jumlah sampel (n) dan *critical acceptance value* (k) dari *sampling plan* berdasarkan indeks kapabilitas  $C_p$ . Untuk kenyamanan dan tujuan penggunaan yang lebih praktis, kami menghitung dan mentabulasikan jumlah sampel yang dibutuhkan (n) dan *critical acceptance value* (k) untuk *sampling plan* dengan nilai  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $C_{AQL}$ ,  $C_{RQL}$  yang umum digunakan.

Seperti yang disebutkan oleh Pearn dan Wu (2007), karena proses parameter dan standard deviasi proses ( $\mu$  dan  $\sigma$ ) tidak diketahui, maka parameter  $\xi = (\mu - M)/\sigma$  juga tidak diketahui dimana hal tersebut harus diestimasi dalam aplikasi yang nyata. Beberapa pendekatan telah dikenalkan untuk mengestimasi nilai  $\xi$  dimana mereka melakukan perhitungan yang lebih ekstensif untuk meneliti perilaku *critical value* dan jumlah sampel yang dibutuhkan untuk parameter yang bervariasi dan menemukan bahwa jumlah sampel yang dibutuhkan dan *critical value* akan lebih konseratif jika  $\xi = 1$  sehingga didalam penelitian ini akan digunakan  $\xi=1$  untuk menjamin bahwa keputusan yang dibuat *reliable*.

Tabel 4.1 menyajikan nilai (n, k) untuk  $\alpha = 0.01, 0.025, 0.05, 0.075, 0.10$  dan  $\beta = 0.01, 0.025, 0.05, 0.075, 0.10$  dengan *benchmarking quality level* yang bervariasi,  $(C_{AQL}, C_{RQL}) = (1.33, 1.00), (1.5, 1.33), (1.67, 1.33), (2.00, 1.67)$ . Sebagai contoh, jika *benchmarking quality level*  $(C_{AQL}, C_{RQL})$  diatur pada (1.33, 1.00) dengan risiko produsen ( $\alpha$ ) = 0.01 dan risiko pembeli ( $\beta$ )= 0.05, maka jumlah sampel dan *critical acceptance value* dapat diperoleh (n, k) = (112, 1.1372). Lot sample dikatakan dapat diterima jika hasil pengukuran indeks kapabilitas proses 112 produk yang diinspeksi lebih besar daripada *critical acceptance value* atau  $\hat{C}_p \geq 1.1372$ .

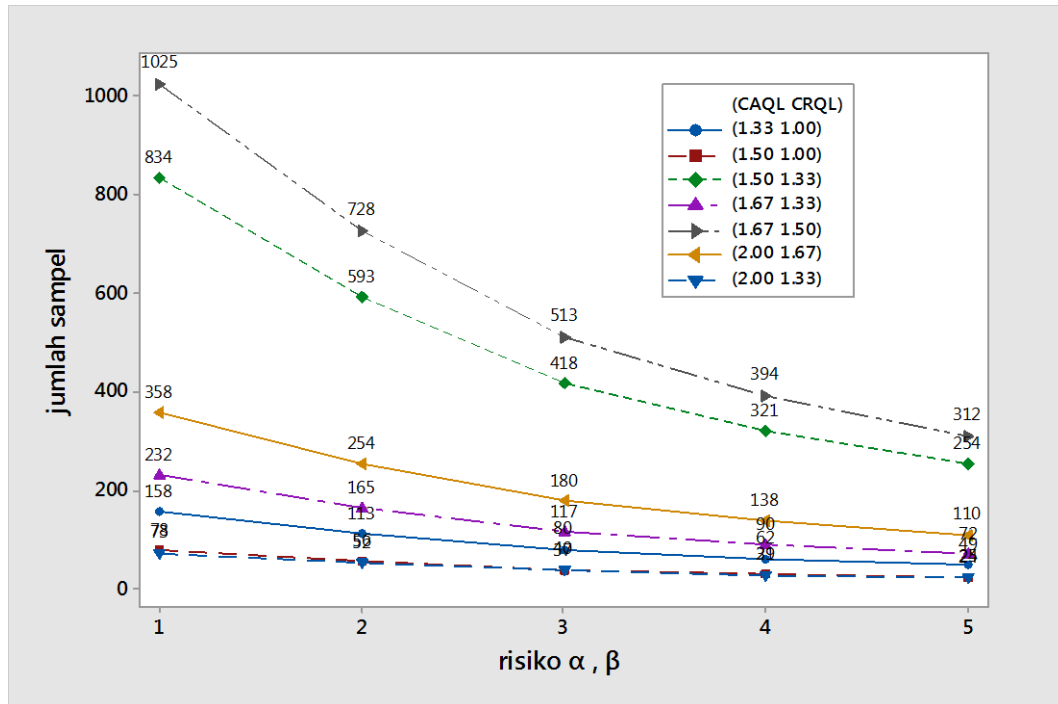
Tabel 4.1 Plan parameter (n, k) untuk  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $C_{AQL}$ ,  $C_{RQL}$  yang bervariasi

$\alpha$	$\beta$	$C_{AQL}$ 1,33	$C_{RQL}$ 1,00	$C_{AQL}$ 1,50	$C_{RQL}$ 1,00	$C_{AQL}$ 1,50	$C_{RQL}$ 1,33	$C_{AQL}$ 1,67	$C_{RQL}$ 1,33	$C_{AQL}$ 1,67	$C_{RQL}$ 1,50	$C_{AQL}$ 2,00	$C_{RQL}$ 1,33	$C_{AQL}$ 2,00	$C_{RQL}$ 1,67
		n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k
0,01	0,01	158	1,164	78	1,249	834	1,4149	232	1,499	1025	1,585	73	1,663	358	1,835
	0,03	132	1,151	65	1,228	704	1,4077	195	1,485	865	1,578	61	1,636	301	1,821
	0,05	112	1,137	55	1,208	600	1,4005	166	1,471	739	1,57	51	1,609	256	1,807
	0,08	100	1,127	49	1,193	537	1,3952	148	1,461	661	1,565	46	1,589	229	1,797
	0,10	91	1,119	44	1,181	491	1,3907	135	1,452	605	1,561	42	1,572	209	1,788
0,03	0,01	136	1,179	68	1,271	713	1,4222	200	1,514	875	1,592	64	1,693	307	1,849
	0,03	113	1,165	56	1,251	593	1,4151	165	1,5	728	1,585	52	1,666	254	1,835
	0,05	94	1,152	47	1,231	498	1,4078	139	1,486	612	1,578	44	1,639	213	1,821
	0,08	83	1,141	41	1,215	441	1,4024	122	1,475	542	1,572	38	1,619	188	1,811
	0,10	75	1,133	37	1,202	399	1,3977	110	1,466	491	1,568	35	1,601	170	1,802
0,05	0,01	119	1,194	60	1,294	616	1,4297	174	1,529	756	1,6	56	1,723	266	1,863
	0,03	97	1,181	49	1,274	505	1,4227	142	1,516	620	1,593	46	1,697	218	1,85
	0,05	80	1,167	40	1,254	418	1,4154	117	1,502	513	1,585	37	1,67	180	1,836
	0,08	70	1,157	35	1,239	366	1,4099	102	1,491	449	1,58	33	1,65	157	1,826
	0,10	62	1,148	31	1,226	328	1,4052	91	1,482	403	1,575	29	1,633	141	1,817
0,08	0,01	108	1,205	55	1,311	557	1,4352	158	1,541	683	1,605	51	1,746	241	1,874
	0,03	87	1,192	44	1,292	451	1,4284	128	1,527	554	1,598	41	1,721	195	1,861
	0,05	71	1,179	36	1,272	369	1,4212	104	1,513	454	1,591	34	1,695	159	1,848
	0,08	62	1,168	31	1,257	321	1,4158	90	1,503	394	1,586	29	1,675	138	1,837
	0,10	55	1,16	28	1,244	285	1,411	80	1,494	350	1,581	26	1,658	123	1,828
0,10	0,01	100	1,214	51	1,325	513	1,4399	146	1,55	629	1,61	48	1,765	223	1,884
	0,03	80	1,202	41	1,307	412	1,4333	117	1,537	506	1,603	38	1,741	179	1,871
	0,05	65	1,189	33	1,288	334	1,4263	95	1,524	410	1,596	31	1,716	145	1,858
	0,08	56	1,179	28	1,273	288	1,4209	81	1,513	353	1,591	27	1,697	124	1,847
	0,10	49	1,17	25	1,261	254	1,4161	72	1,504	312	1,586	24	1,68	110	1,838

### 4.3 Analisa Perilaku Model

Dari pengamatan hasil pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa semakin kecil risiko produsen dan konsumen yang mereka terima, maka semakin besar jumlah sampel yang dibutuhkan untuk inspeksi. Pola ini dapat dijelaskan secara intuitif dimana kita membutuhkan informasi sampel lebih banyak didalam penentuan penerimaan untuk menghindari kesalahan menerima produk yang buruk dan

menolak produk yang baik. Pola perilaku risiko ( $\alpha=\beta$ ) terhadap jumlah sampel ditunjukkan pada Gambar 4.4.



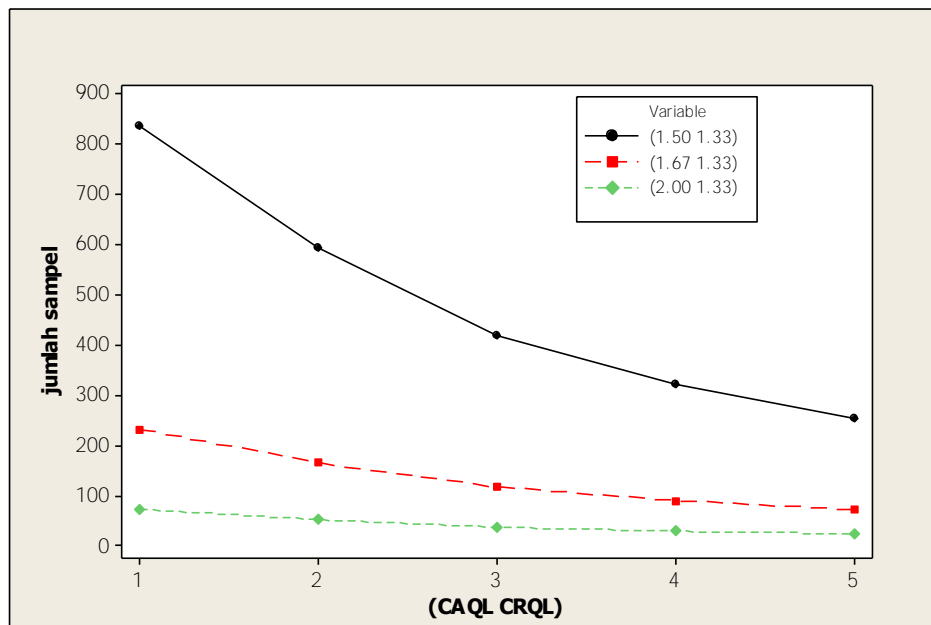
Gambar 4.5 Pola perilaku jumlah sampel terhadap risiko produsen dan konsumen

Sedangkan perilaku yang ditunjukkan oleh jumlah sampel terhadap quality level dengan risiko  $\alpha, \beta, C_{RQL}$  yang sama dengan  $C_{AQL}$  yang berbeda, dapat dilihat bahwa semakin kecil jumlah sampel yang dibutuhkan maka nilai  $C_{AQL}$  semakin besar. Hal ini dapat diinterpretasi bahwa semakin besar perbedaan nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  maka penilaian terhadap keputusan penerimaan akan semakin benar dan probabilitas penerimaan produk akan semakin besar. Pola perilaku jumlah sampel terhadap  $C_{AQL}$  yang berbeda dengan  $\alpha, \beta$ , dan  $C_{RQL}$  yang sama dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a) dan (b).

Begitu pula dengan perilaku *critical value* terhadap *quality level* ( $C_{AQL}, C_{RQL}$ ) dimana untuk risiko  $\alpha, \beta, C_{RQL}$  yang sama dengan  $C_{AQL}$  yang berbeda, dapat dilihat bahwa nilai *critical value* semakin bertambah besar seiring dengan perbedaan nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  yang semakin besar. Pola perilaku *critical value*

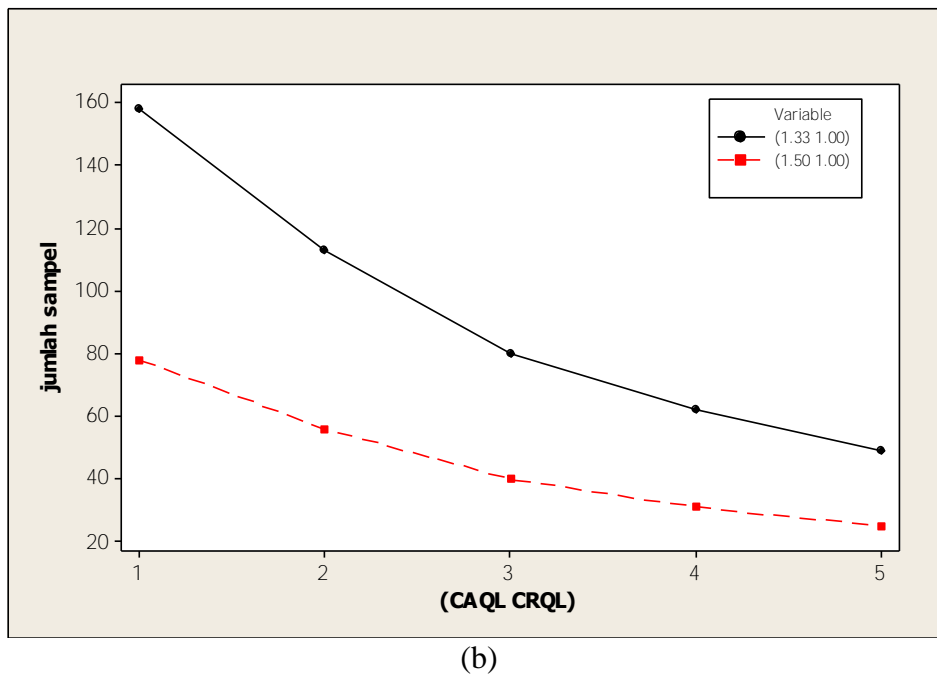


terhadap *quality level* dapat dilihat pada Gambar. 4.6 (a) dan (b). Pada Gambar 4.6 (a) dan (b) ditunjukkan bahwa laju kenaikan *critical value* berbanding lurus dengan laju kenaikan  $C_{AQL}$ . Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa AQL adalah level terendah kualitas proses *vendor* dimana konsumen akan mempertimbangkan untuk dapat diterima sebagai rata-rata proses sedangkan RQL merupakan level kualitas terendah yang mau diterima oleh konsumen, sehingga semakin besar produsen dan konsumen menetapkan *quality level* mereka, maka semakin besar pula syarat kritis atau *critical value* sebuah produk dinyatakan lulus uji inspeksi sebagai kriteria keputusan penerimaan.

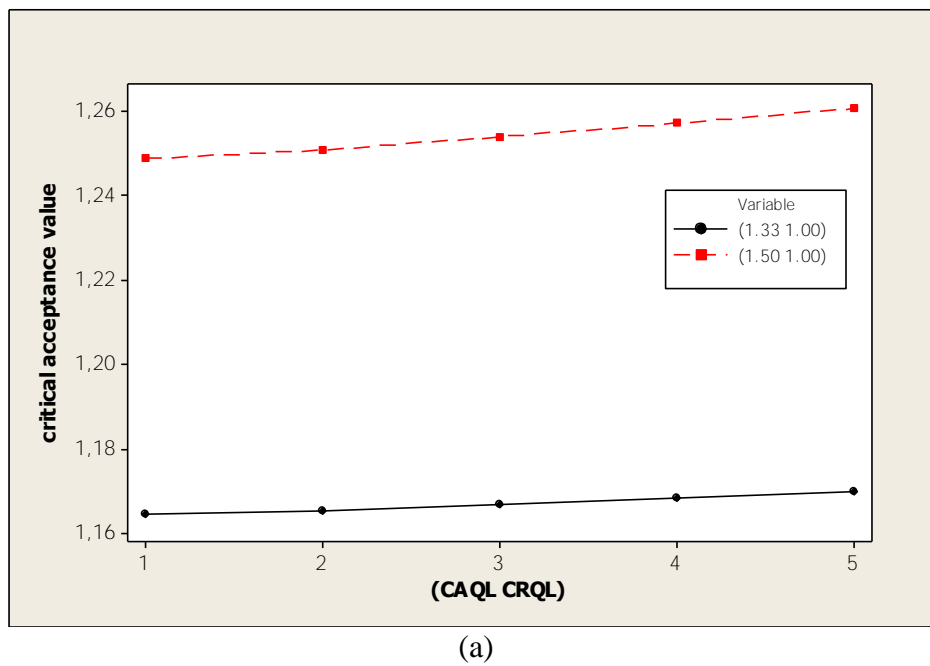


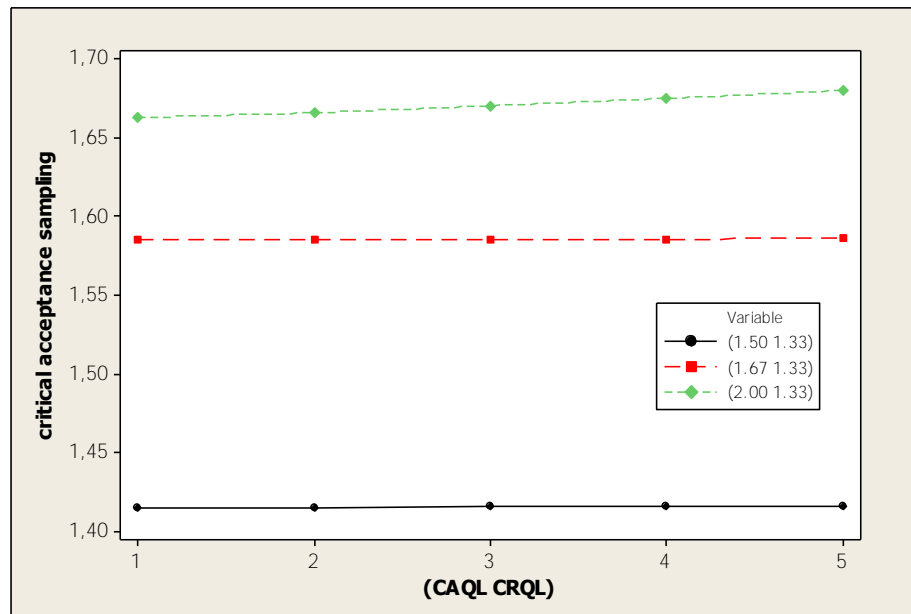
(a)





Gambar 4.6 (a) dan (b) Pola perilaku jumlah sampel terhadap *quality level*





(b)

Gambar 4.7 (a) dan (b) Pola perilaku *critical value* terhadap *quality level*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 5

### *NUMERICAL EXAMPLE DAN ANALISIS*

#### 5.1 *Numerical example*

Untuk mengilustrasikan bagaimana model *sampling plan* yang diusulkan dapat diterapkan pada data aktual yang yang didapatkan dari pabrik, peneliti menggunakan studi kasus yang digunakan oleh Wu, *et al.* (2012) dimana di dalam penelitiannya mereka menggunakan indeks Cpk. Wu, *et al.* (2012) melakukan studi kasus pada pabrik pembuat komponen elektronik. Pabrik tersebut memproduksi berbagai jenis resistor. Resistor adalah salah satu komponen pelektronika yang berfungsi untuk menghambat atau membatasi aliran listrik yang mengalir dalam suatu rangkain elektronika. *Acceptance sampling* pada studi kasus ini digunakan sebagai salah satu aktivitas inspeksi antar divisi (divisi A ke divisi B) didalam pabrik pembuatan resistor. Model tertentu dari resistor diselidiki, dimana nilai target dari ketebalannya diatur sebesar  $T = 10$  mil dan toleransinya adalah sebesar 2 mil dengan batas spesifikasi atas dan bawah diatur pada  $LSL = 8.0$  mil dan  $USL = 12$  mil. Jika karakteristik tidak jatuh didalam toleransi  $[LSL, USL]$ , maka umur pakai atau reliabilitas dari resistor akan berkurang (discounted).

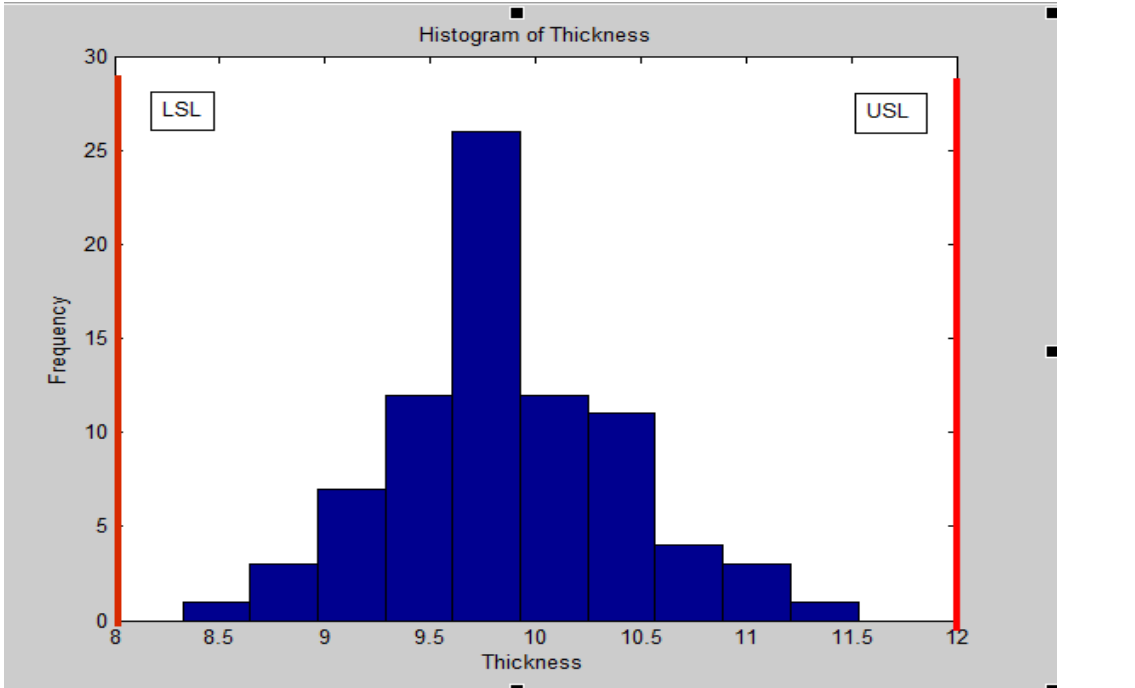
Didalam kontrak, ditetapkan nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  yaitu 1.33 dan 1.00 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05. Dengan melihat Tabel 4.1, didapatkan jumlah sampel yang dibutuhkan yaitu 80 dan *critical acceptance value* yang bersesuaian yaitu 1,1669. Ini bearti *lot sample* dikatakan dapat diterima jika hasil pengukuran indeks kapabilitas proses 80 produk yang diinspeksi lebih besar daripada *critical acceptance value* atau  $\hat{C}_{pk} \geq 1,1669$ .

80 sampel diambil dari lot secara acak dan dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5.1. Data hasil pengukuran kemudian dilakukan tes normalitas menggunakan *Anderson-Darling normality test*. Data data ini dipertimbangkan berdistribusi normal berdasarkan *Anderson-darling test*

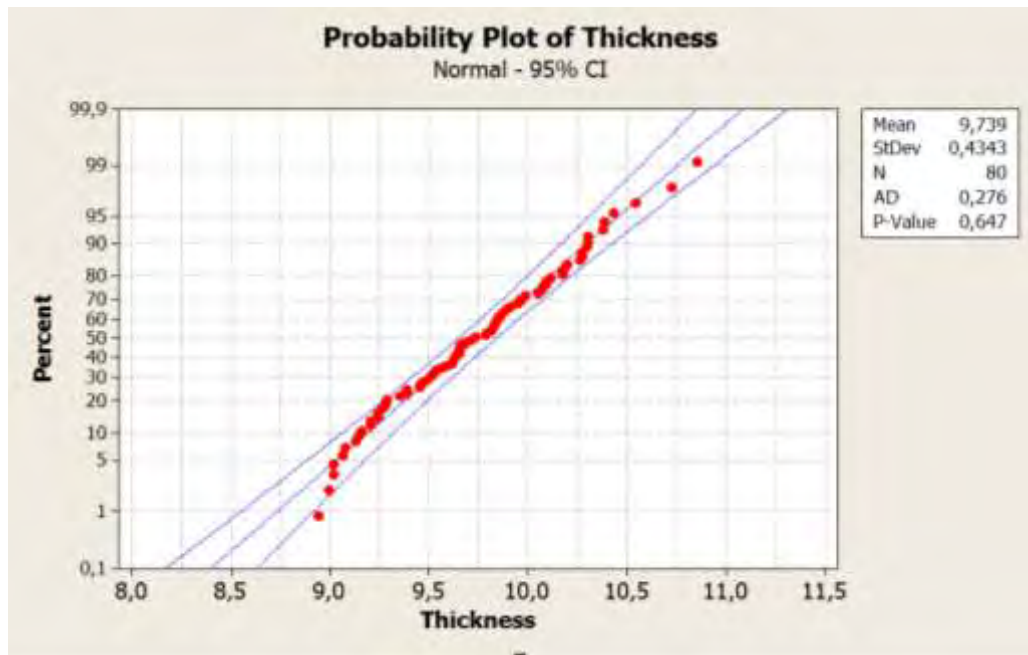
dengan  $p\text{-value} = 0.67$ . Hasil plot probabilitas normal dengan  $p\text{-value}$  untuk uji normalitas ditunjukkan pada Gambar 5.1 dan histogram hasil pengukuran data dengan batas atas dan batas bawah spesifikasi ditunjukan pada Gambar. 5.2.

Tabel 5.1 Data hasil pengukuran ketebalan sampel

9,28	8,99	10,30	9,96	9,95	9,39	9,79	9,49
9,62	9,07	9,02	9,65	9,46	9,63	9,62	9,14
9,79	10,39	9,91	10,30	10,38	10,11	9,13	10,17
10,20	9,84	9,65	9,53	10,09	10,54	9,89	9,86
9,35	9,65	9,71	9,08	10,17	9,55	9,48	9,51
9,99	9,66	9,16	9,21	10,43	9,96	9,38	9,45
9,28	10,85	9,85	9,63	10,27	9,83	9,66	10,06
9,24	9,68	9,24	9,52	9,29	9,73	9,81	10,26
10,05	9,82	10,18	10,27	9,85	10,72	9,20	9,88
9,26	10,30	8,94	10,07	9,83	10,09	9,02	9,59



Gambar 5.1 Histogram hasil pengukuran data sampel



Gambar 5.2 Plot probabilitas normal data sampel

Berdasarkan pada data pengukuran diatas, maka dapat diperoleh rata-rata sampel, standar deviasi sampel dan estimasi indeks Cpk adalah:

$$\bar{x} = 9.7394 \text{ mil}, s = 0.4336$$

$$\hat{C}_{pk} = \frac{d - |\bar{x} - M|}{3s} = 1,3371$$

Dari data diatas di dalam studi kasus ini, divisi B akan menerima seluruh lot dari divisi A karena pengukuran estimator sampel dari 80 produk lebih besar dari *critical value* 1,1669 ( $\hat{C}_{pk} \geq 1,1669$ ).

## 5.2 Pengambilan keputusan perawatan berdasarkan kualitas produk

Setelah melakukan perancangan *single VSP* dengan PCI, maka selanjutnya dilakukan pengambilan keputusan perawatan berdasarkan penggunaan informasi dari hasil *acceptance sampling*. Pada penelitian ini penulis mengadopsi konsep *tightened-normal-tightened* (TNT) *sampling plan* sebagai penentuan

batasan/*treshold* pada kualitas produk untuk kriteria keputusan dilakukannya aktivitas perawatan. Kurniati *et al.* (2015) menjelaskan bahwa inspeksi TNT *sampling plan* digunakan ketika kualitas dirasa mengalami deteriorasi dan *normal inspection* digunakan ketika kualitas telah ditemukan baik. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa penolakan lot terjadi ketika indeks estimator  $C_{pk}$  lebih kecil dari pada  $k$ .

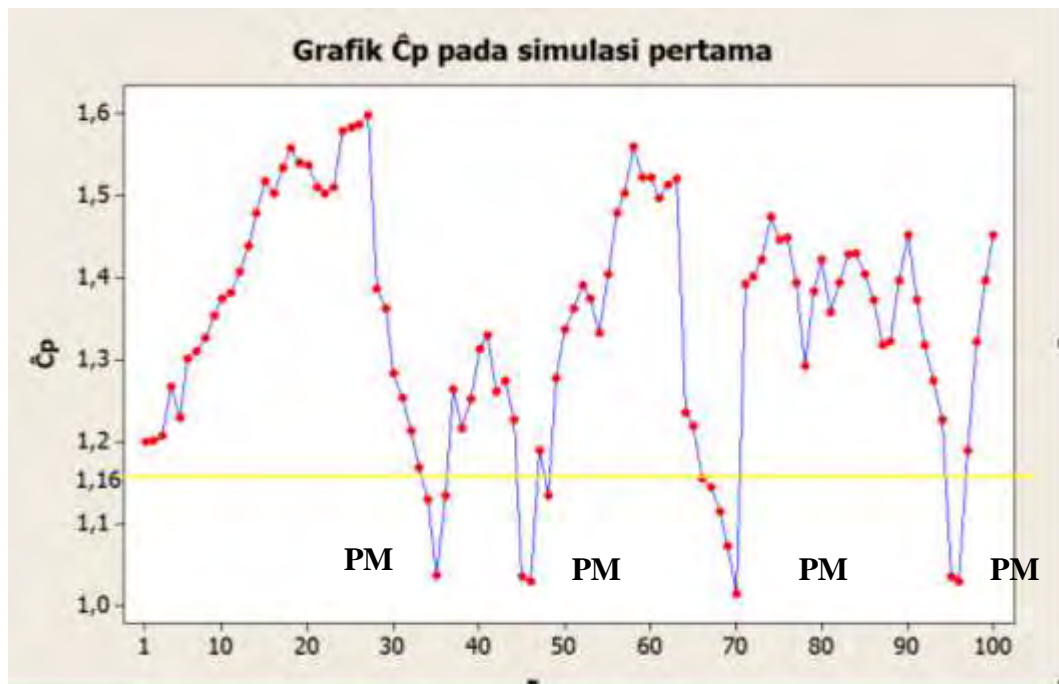
Keputusan aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan. Jika  $x$  adalah jumlah banyaknya lot yang ditolak secara berurutan, maka dalam penelitian ini akan ditetapkan nilai  $x$  yang akan disimulasikan pada semua lot yang diinspeksi. Peneliti menetapkan nilai  $x = 2$ , dimana jika terjadi dua kali penolakan secara berurutan maka akan pabrik akan melakukan kegiatan perawatan.

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan sebanyak empat kali untuk nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  yang berbeda dan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang sama. Untuk setiap simulasi akan dilakukan sebanyak 100 kali pada masing-masing *sampling plan parameter*. Simulasi pertama dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  sama seperti yang dilakukan pada *numerical example*, yaitu 1.33 dan 1.00 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* ( $n, k$ ) yaitu  $n=80$  dan  $k=1,1669$ . Simulasi kedua dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$ , yaitu 1.50 dan 1.33 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* ( $n, k$ ) yaitu  $n=418$  dan  $k=1.4154$ . Simulasi ketiga dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$ , yaitu 1.67 dan 1.33 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* ( $n, k$ ) yaitu  $n=117$  dan  $k=1.5016$ . Sedangkan simulasi keempat dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$ , yaitu 2.00 dan 1.33 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* ( $n, k$ ) yaitu  $n=37$  dan  $k=1.67$ .

Seperti halnya pada *numerical example* diatas, semua sampel yang diambil secara acak akan dilakukan uji normalitas dan dipertimbangkan berdistribusi normal. Menurut Kurniati, *et al* (2015), kecukupan asumsi normalitas harus diperiksa sebelum membuat keputusan penerimaan produk berdasarkan skema pengambilan sampel yang diusulkan. Jika mungkin terdapat beberapa situasi

bahwa data produk mungkin tidak mengikuti distribusi normal, maka teknik transformasi (seperti *Box-Cox transformation*) dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak komputer yang tersedia (seperti Minitab dan sebagainya).

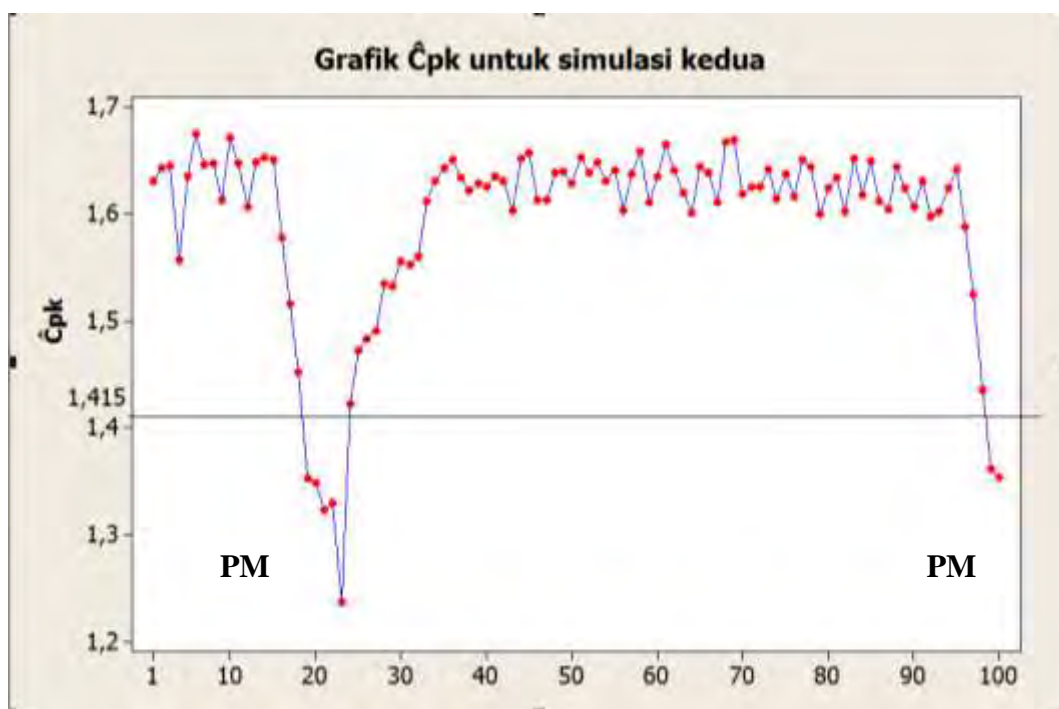
Simulasi pertama dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  sama seperti yang dilakukan pada *numerical example*, yaitu 1.33 dan 1.00 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* ( $n$ ,  $k$ ) yaitu  $n = 80$  dan  $k = 1,1669$ . Pada simulasi pertama, untuk 100 kali pengambilan sampel terdapat 13 kali penolakan lot dimana nilai estimator  $\hat{C}_{pk}$  lebih kecil dibandingkan dengan nilai *critical value* yang sebesar 1.204. Penolakan terjadi saat percobaan pengambilan sampel ke-33 sampai 36, percobaan 45 dan 46, percobaan 48, percobaan 66 sampai 70, dan percobaan 95 dan 96. Pada grafik  $\hat{C}_{pk}$ , simulasi pertama yang ditunjukkan oleh Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa kebijakan perawatan dilakukan sebanyak empat kali untuk  $x=2$  (penolakan terjadi dua kali secara berurutan). Grafik  $\hat{C}_{pk}$  untuk 100 kali pengambilan sampel pada simulasi pertama ditunjukkan oleh Gambar 5.3. di bawah ini.



Gambar 5.3 Grafik  $\hat{C}_p$  pada simulasi pertama



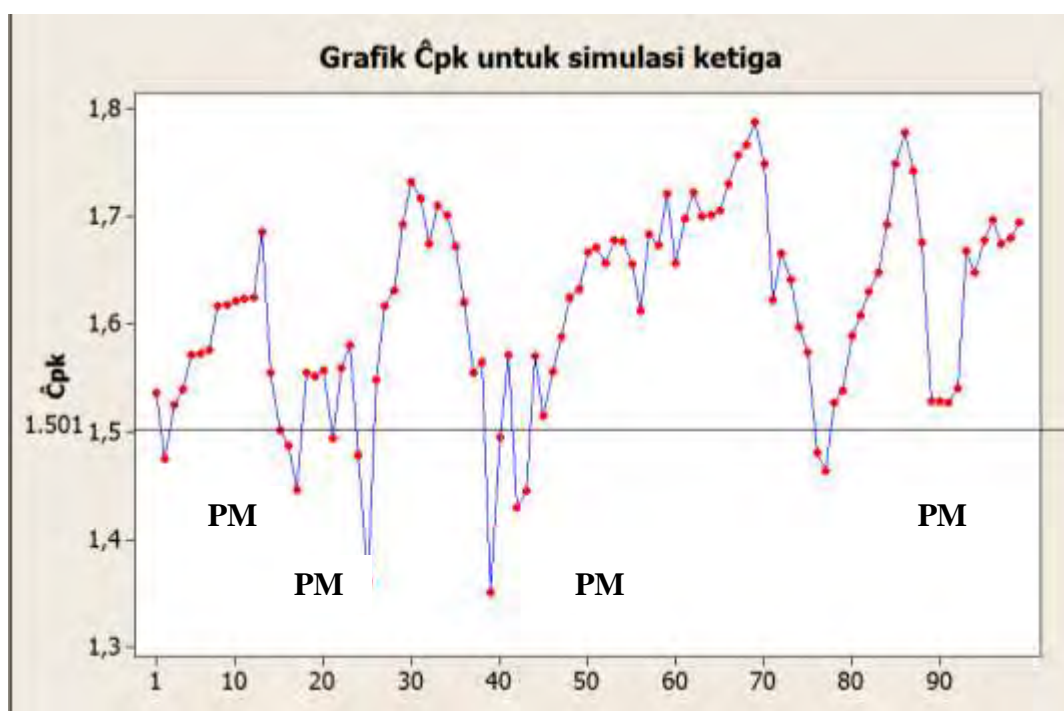
Simulasi kedua dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$ , yaitu 1.50 dan 1.33 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* (n, k) yaitu n= 418 dan k= 1.4154. Pada simulasi kedua, untuk 100 kali pengambilan sampel terdapat tujuh kali penolakan lot dimana nilai estimator  $\hat{C}_{pk}$  lebih kecil dibandingkan dengan nilai *critical value* yang sebesar 1.204. Penolakan terjadi saat percobaan pengambilan sampel ke-19 sampai 23, dan 99 dan 100. Pada grafik  $\hat{C}_{pk}$  simulasi kedua yang ditunjukkan oleh Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa kebijakan perawatan dilakukan sebanyak dua kali untuk x=2 (penolakan terjadi dua kali secara berurutan).



Gambar 5.4 Grafik  $\hat{C}_{p}$  pada simulasi kedua

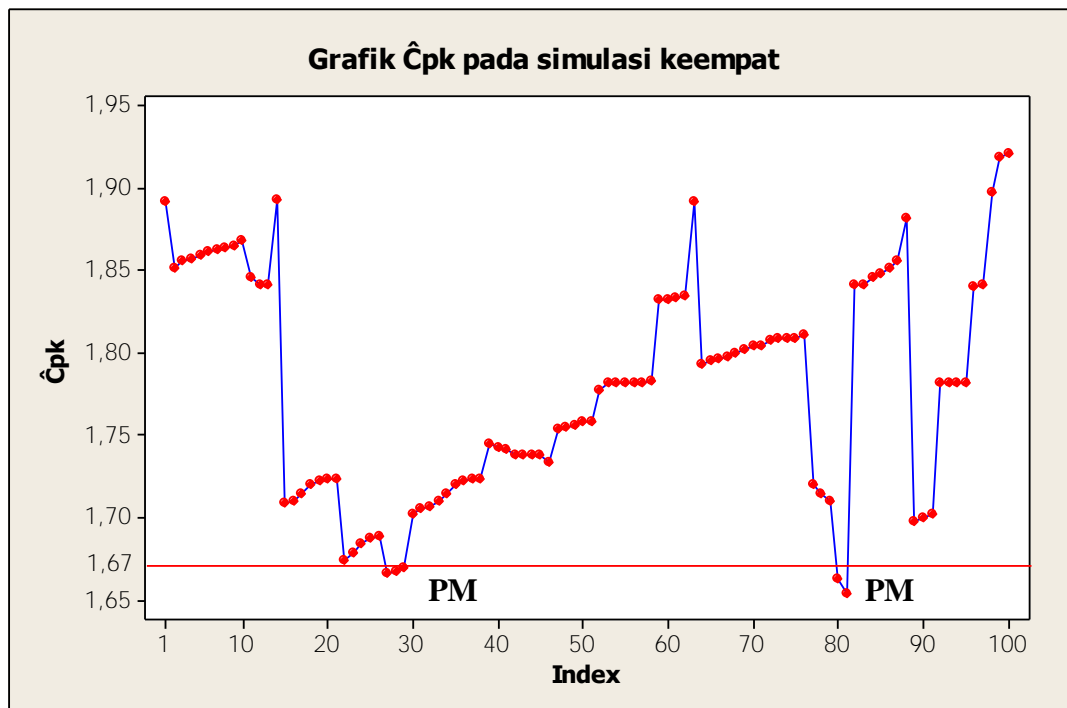
Simulasi ketiga dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$ , yaitu 1.67 dan 1.33 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* (n, k) yaitu n= 117 dan k= 1.5016. Pada simulasi ketiga, untuk 100 kali pengambilan sampel terdapat 13 kali penolakan lot dimana nilai estimator  $\hat{C}_{pk}$  lebih kecil dibandingkan dengan nilai *critical value* yang sebesar 1.204.

Penolakan terjadi saat percobaan pengambilan sampel ke-3, percobaan 16 sampai 18, percobaan 22, percobaan 25 dan 26, percobaan 43 sampai 44, dan percobaan 77 dan 78. Pada grafik  $\hat{C}_{pk}$  simulasi ketiga yang ditunjukkan oleh Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa kebijakan perawatan dilakukan sebanyak empat kali untuk  $x=2$  (penolakan terjadi dua kali secara berurutan).



Gambar 5.5 Grafik  $\hat{C}_p$  pada simulasi ketiga

Simulasi keempat ketiga dilakukan pada  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$ , yaitu 2.00 dan 1.33 dengan *producer's  $\alpha$ -risk* = 0.05 dan *consumer's  $\beta$ -risk* = 0.05, dimana jumlah sampel dan *critical value* ( $n$ ,  $k$ ) yaitu  $n= 37$  dan  $k= 1.67$ . Pada simulasi keempat, untuk 100 kali pengambilan sampel terdapat lima kali penolakan lot dimana nilai estimator  $C_{pk}$  lebih kecil dibandingkan dengan nilai *critical value* yang sebesar 1.67. Penolakan terjadi saat percobaan pengambilan sampel ke 27 sampai 29, dan percobaan 80 dan 81. Pada grafik  $\hat{C}_{pk}$  simulasi keempat yang ditunjukkan oleh Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa kebijakan perawatan dilakukan sebanyak dua kali untuk  $x=2$  (penolakan terjadi dua kali secara berurutan).



Gambar 5.6 Grafik  $\hat{C}_p$  pada simulasi keempat

Dari hasil masing – masing simulasi diatas dapat dilihat bahwa trend indeks kapabilitas proses bersifat fluktuatif. Namun, kita dapat mengetahui bila trend indeks kapabilitas proses yang mengalami penurunan secara signifikan dimana penolakan terhadap lot produk melampaui nilai  $x$  hingga diputuskan untuk dilakukan perawatan menunjukkan keadaan deteriorasi. Deteriorasi berdampak langsung pada avabilitas sistem produksi dan kualitas output, sedangkan kualitas produk sangat dipengaruhi secara langsung oleh degradasi proses produksi. Inferensi deteriorasi berdasarkan kualitas produk seperti ini menjadi alternatif yang lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan inferensi deteriorasi berdasarkan kondisi peralatan karena penurunan kualitas produk memberikan umpan balik tentang kondisi peralatan tanpa harus melibatkan teknologi yang mahal seperti pada *condition-based maintenance* biasa. *Feedback* dari kegiatan perawatan berdasarkan kualitas menjadi efektif dalam meningkatkan performansi dari unit produksi, karena *fraction non-conforming product* yang

dihasilkan memberikan kita informasi bahwa terdapat indikasi yang relevan terhadap keadaan deteriorasi secara keseluruhan.

Selain itu, dari hasil pengamatan pada grafik dapat dilihat bahwa tidak ada pola dari masing-masing *sampling plan* yang dibuat terhadap banyaknya jumlah perawatan meskipun memang terdapat interaksi antara hasil kualitas produk dan perawatan, namun tidak ada pengaruh pemilihan *plan parameter sampling plan* terhadap banyaknya jumlah perawatan yang dilakukan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 6

### KESIMPULAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang kesimpulan dan saran berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan.

#### 6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil penelitian ini antara lain:

1. PCI merupakan salah satu teknik statistika dalam menganalisis variabilitas proses manufaktur yang berhubungan dengan *product requirement*. PCI juga merupakan *management tool* yang sangat berguna terutama pada industri manufaktur untuk menganalisis kemampuan proses manufaktur and kualitas produksi. Indeks ini menyediakan pengukuran secara kuantitatif apakah proses manufaktur sesuai dengan level yang ditentukan dari toleransi produksi atau tidak. Indeks Cpk merupakan indeks yang paling terkenal didalam PCI karena indeks ini dapat mengukur besarnya variabilitas proses untuk *two-side spesification* dengan mempertimbangkan lokasi dari *process mean*. *Acceptance sampling* merupakan alat yang praktis dalam penerapan jaminan kualitas yang memberikan aturan keputusan penerimaan produk pada produsen dan konsumen. Dikarenakan aktivitas sampling tidak dapat menggaransi bahwa *defective item* terdapat didalam sampel dan terinspeksi, maka produsen dan konsumen mempunyai risiko mereka masing-masing karena ketidakcukupan sampling mencerminkan kondisi kualitas lot yang sebenarnya. Risiko ini semakin besar seiring dengan semakin tingginya teknologi didalam industri manufaktur. Penelitian ini mengembangkan *variable sampling plan* berdasarkan indeks Cpk. *Sampling plan* yang diusulkan dikembangkan berdasarkan *exact sampling distribution*, sehingga memungkinkan kita untuk melihat bagaimana proses dapat terdistribusi secara *real*. Penulis mengembangkan metode untuk menentukan jumlah sampel yang dibutuhkan dan *critical acceptance value* yang bersesuaian untuk *parameter sampling plan*. Untuk

kenyamanan dan tujuan penggunaan yang lebih praktis, penulis mentabulasikan jumlah sampel yang dibutuhkan ( $n$ ) dan *critical acceptance value* ( $k$ ) masing-masing pasangan quality level (AQL, RQL), *producer's risk* dan *consumer's risk* ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) yang umum digunakan. Untuk mengilustrasikan bagaimana model *sampling plan* yang diusulkan dapat diterapkan pada data aktual, peneliti mendemostrasikan studi kasus pada pabrik pembuat komponen elektronik untuk mengevaluasi performansi dari prosesnya.

2. Dari hasil analisa perilaku model, didapatkan beberapa pengamatan antara lain:

- Semakin kecil risiko produsen dan konsumen, maka semakin besar jumlah sampel yang dibutuhkan untuk inspeksi. Pola ini dapat dijelaskan secara intuisi dimana kita membutuhkan informasi sampel lebih banyak didalam penentuan penerimaan untuk menghindari kesalahan menerima produk yang buruk dan menolak produk yang baik
- Semakin kecil jumlah sampel yang dibutuhkan maka nilai  $C_{AQL}$  semakin besar. Hal ini dapat diinterpretasi bahwa semakin besar perbedaan nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  maka penilaian terhadap keputusan penerimaan akan semakin benar dan probabilitas penerimaan produk akan semakin besar.
- Semakin besar nilai *critical value* maka nilai  $C_{AQL}$  semakin bertambah besar. Hal ini dapat diinterpretasi bahwa semakin besar produsen dan konsumen menetapkan quality level mereka, maka semakin besar pula syarat kritis atau *critical value* lot produk dinyatakan lulus uji inspeksi sebagai kriteria keputusan penerimaan.

3. Interaksi antara perawatan dan kualitas produk dilakukan berdasarkan penggunaan informasi dari hasil *acceptance sampling* yang telah dibuat untuk pengambilan keputusan perawatan. Keputusan aktivitas perawatan dilakukan ketika jumlah penolakan lot secara berurutan mencapai batas yang ditentukan. Jika  $x$  adalah jumlah banyaknya lot yang ditolak secara berurutan, maka dalam penelitian ini akan ditetapkan nilai  $x$  yang akan disimulasikan pada semua lot yang diinspeksi. Peneliti menetapkan nilai  $x = 2$ , dimana jika terjadi dua kali penolakan secara berurutan maka akan pabrik akan melakukan kegiatan

perawatan. Pada penelitian ini, simulasi interaksi dilakukan sebanyak empat kali untuk nilai  $C_{AQL}$  dan  $C_{RQL}$  yang berbeda dengan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang sama. Untuk setiap simulasi akan dilakukan sebanyak 100 kali pada masing-masing *sampling plan parameter*. Dari hasil interaksi model, grafik masing – masing simulasi menunjukkan trend indeks kapabilitas proses yang fluktuatif. Namun, kita dapat mengetahui bila trend indeks kapabilitas proses yang mengalami penurunan secara signifikan, dimana penolakan terhadap lot produk melampaui nilai  $x$  hingga diputuskan untuk dilakukan perawatan, dapat menunjukkan keadaan deteriorasi. Keadaan deteriorasi berdampak langsung pada kualitas output, karena kualitas produk sangat dipengaruhi secara langsung oleh degradasi proses produksi. Penurunan kualitas produk memberikan umpan balik tentang kondisi peralatan, sedangkan informasi dari hasil *acceptance sampling* digunakan untuk keputusan perawatan. *Feedback* dari kegiatan perawatan berdasarkan kualitas menjadi efektif dalam meningkatkan performansi dari unit produksi, karena *fraction non-conforming product* yang dihasilkan memberikan kita informasi bahwa terdapat indikasi yang relevan terhadap keadaan deteriorasi secara keseluruhan.

Selain itu dari hasil pengamatan pada grafik, dapat dilihat bahwa tidak ada pola dari masing-masing *sampling plan* yang dibuat terhadap banyaknya jumlah perawatan. Meskipun memang terdapat interaksi antara hasil kualitas produk dan perawatan, namun tidak ada pengaruh pemilihan *plan parameter sampling plan* terhadap banyaknya jumlah perawatan yang dilakukan.

Interaksi antara perawatan dan kualitas produk memberikan beberapa keuntungan. Pertama berdasarkan analisis dari indeks kapabilitas proses, departemen produksi dapat mengidentifikasi dan meningkatkan proses yang buruk (poor) sehingga kualitas produk dapat ditingkatkan dan kebutuhan pelanggan dapat terpenuhi. Informasi ini dapat dijadikan *parameter control* yang sangat membantu untuk penjadwalan kegiatan perawatan. *Quality-based-maintenance* yang diusulkan sangat membantu pihak managerial untuk meningkatkan performansi kualitas produknya. Kedua, inferensi deteriorasi berdasarkan kualitas produk menjadi alternatif yang lebih efektif dan efisien



dibandingkan dengan inferensi deteriorasi berdasarkan kondisi peralatan karena penurunan kualitas memberikan *feedback* tentang kondisi peralatan tanpa harus melibatkan teknologi yang mahal seperti pada *condition-based maintenance* biasa.

## **6.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis antara lain:

1. Penelitian selanjutnya dapat mengusulkan *variable sampling plan* yang berbeda, seperti *double sampling*, *multiple sampling* ataupun *sequential sampling*.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan sistem produksi didalam interaksi.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan integrasi antara perawatan dan kualitas ataupun integrasi antara sistem produksi, perawatan dan kualitas yang mempertimbangkan faktor biaya sebagai solusi optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ben-Daya, M., & Duffuaa, S. . (1995). Maintenance and quality : the missing link, (1), 20–26.
- Bouslah, B., Gharbi, a., & Pellerin, R. (2015). Integrated production, sampling quality control and maintenance of deteriorating production systems with AOQL constraint. *Omega*, 1–17. <http://doi.org/10.1016/j.omega.2015.07.012>
- Bouslah, B., Gharbi, A., & Pellerin, R. (2016). Joint economic design of production, continuous sampling inspection and preventive maintenance of a deteriorating production system. *Intern. Journal of Production Economics*. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.12.016>
- Chou, Y., & Owen, D. B. (1989). On the distributions of the estimated process capability indices, *18*(12), 4549–4560. <http://doi.org/10.1080/03610928908830174>
- Davies, A. (1998). *Handbook of Conditioning Monitoring techniques and methodology* (First). UK: Springer science+Business Media Dordrecht.
- Dhillon, B. S. (2002). *ENGINEERING MAINTENANCE : A Modern Approach*. Florida: CRC PRESS LLC.
- Grall, A., Dieulle, L., & Be, C. (2002). A condition-based maintenance policy for stochastically deteriorating systems, *76*, 167–180.
- Hsu, L.-F., & Kuo, S. (1995). Design of optimal maintenance policies based on on-line sampling plans. *European Journal of Operational Research*, *86*(2), 345–357. [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00109-P](http://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00109-P)
- Juran, J. M., & Godfrey, a B. (1998). *Juran's Quality Control Handbook*. McGrawHill. <http://doi.org/10.1108/09684879310045286>
- Kane, V.E., 1986. Process capability indices. *Journal of Quality Technology* *18* (1), 41–52.
- Kurniati, N., Yeh, R., & Wu, C. (2015a). Designing a variables two-plan sampling system of type TNTVSS- (  $n_T$  ,  $n_N$  ;  $k$  ) for controlling process fraction nonconforming with unilateral specification limit. *International Journal of*

- Production Research*, 53(7). <http://doi.org/10.1080/00207543.2014.946159>
- Kurniati, N., Yeh, R.-H., & Wu, C.-W. (2015b). A Sampling Scheme for Resubmitted Lots Based on One-Sided Capability Indices. *Quality Technology & Quantitative Management*, 12(4), 497–511.
- Kurniati, N., Yeh, R., & Lin, J. (2015c). Quality inspection and maintenance: the framework of interaction. *Procedia manufacturing*, 4, 244–251.
- Lin, P.C., Pearn, W.L., 2004. Testing process performance based on the capability index Cpk with critical values. *Computers & Industrial Engineering* 47 (4), 351–369.
- Mehdi, R., Nidhal, R., & Anis, C. (2010). Integrated maintenance and control policy based on quality control. *Computers & Industrial Engineering*, 58(3), 443–451. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2009.11.002>
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Sixth Edition Statistical Quality Control* (6th ed.). Wiley.
- Nikolaidis, Y., & Nenes, G. (2009). Economic Evaluation of ISO 2859 Acceptance Sampling Plans Used with Rectifying Inspection of Rejected Lots. *Quality Engineering*, 21(1), 10–23. <http://doi.org/10.1080/08982110802355877>
- Njike, A. N., Pellerin, R., & Kenne, J. P. (2011). Maintenance/production planning with interactive feedback of product quality. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17, 281–298. <http://doi.org/10.1108/13552511111157399>
- Ollila, A., & Malmipuro, M. (1999). Maintenance has a role in quality, 11(1), 17–21.
- Opit, P., & Mokoginta, J. (2007). Usulan Acceptance Sampling Plan Untuk Tape Yarn Produk Geotex 250. *Journal TI Undip*, 11(2), 12–21.
- Panagiotidou, S., & Tagaras, G. (2010). Statistical Process Control and Condition-Based Maintenance: A Meaningful Relationship through Data Sharing, 19(2), 156–171.
- Puspita, Riana., (2013). Acceptance Sampling Plans Untuk Mengendalikan Kualitas Produk Pada PT. Bridgestone Sumatera Rubber Estate. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*, 2(1), 14–17

- Putra, B., (2011). Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Pada Mesin Danner 1.3 di PT. X, *Teknologia* (5), 59-66.
- Pearn, W. L., Lin, G. H., & Chen, K. S. (1998). Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices, 27(4), 985–1000. <http://doi.org/10.1080/03610929808832139>
- Pearn, W.L., Wu, C.W., 2006a. Critical acceptance values and sample sizes of variables sampling plan for very low fraction of defectives. *Omega – International Journal of Management Science* 34 (1), 90–101.
- Pearn, W.L., Wu, C.W., 2006b. Variables sampling plans with PPM fraction of defectives and process loss consideration. *Journal of the Operational Research Society* 57 (4), 450–459.
- Pearn, W. L., & Wu, C. (2007). An effective decision making method for product acceptance. *Omega*, 35, 12 – 21. <http://doi.org/10.1016/j.omega.2005.01.018>
- Rahim, M. ., & Ben-Daya, M. (2001). *Integrated Models in Production Planning, Inventory, Quality, and Maintenance*. New York: Kluwe Academic. <http://doi.org/10.1007/978-1-4615-1635-4>
- Rotab Khan, M. R., & Darrab, I. a. (2010). Development of analytical relation between maintenance, quality and productivity. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16(4), 341–353. <http://doi.org/10.1108/13552511011084508>
- Schilling, E. G. (2006). *Acceptance Sampling in Second Edition*.
- Sharma, A., Yadava, G. S., & Deshmukh, S. G. (2011). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(1), 5–25. <http://doi.org/10.1108/13552511111116222>
- Vännman, K., 1997. Distribution and moments in simplified form for a general class of capability indices. *Communications in Statistics: Theory & Methods* 26, 159–179.
- Wu, C. W., Aslam, M., Jun, C. H. (2012). Variables sampling inspection scheme for resubmitted lots based on the process capability index Cpk. *European Journal of Operational Research*, 217, 560-566.

- Wu, C. W., Pearn, W. L., & Kotz, S. (2009). An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance. *International Journal of Production Economics*, 117(2), 338–359. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.11.008>
- Yum, B.-J., & Kim, K.-W. (2011). A bibliography of the literature on process capability indices: 2000-2009. *Quality and Reliability Engineering International*, 27(3), 251–268. <http://doi.org/10.1002/qre.1115>
- Zhang, G., Deng, Y., Zhu, H., & Yin, H. (2014). Delayed maintenance policy optimisation based on control chart. *International Journal of Production Research*, 53(2), 341–353. <http://doi.org/10.1080/00207543.2014.923948>

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Lampung, 22 Juli 1992 dengan nama Yulia Ferda Hening. Putri kedua dari pasangan Teddy Rizal S.St., M.M dan Ibu Ir. Titin Sulistianti M.M. Penulis menempuh jenjang program Diploma 4 di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan jurusan Teknik Desain Manufaktur dan lulus di tahun 2014. Ditahun yang sama, penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata 2

pada Jurusan Teknik Industri ITS melalui jalur beasiswa *freshgraduate* dengan bidang konsentrasi Manajemen Kualitas dan Manufaktur. Disemester 4, penulis bekerja di Adhi Karya proyek Ammorea II Petrokimia Gresik sampai dengan sekarang. Menonton dan mendengarkan musik adalah kegiatan penulis di waktu luang. Penulis dapat dihubungi melalui email [hyferda@gmail.com](mailto:hyferda@gmail.com).